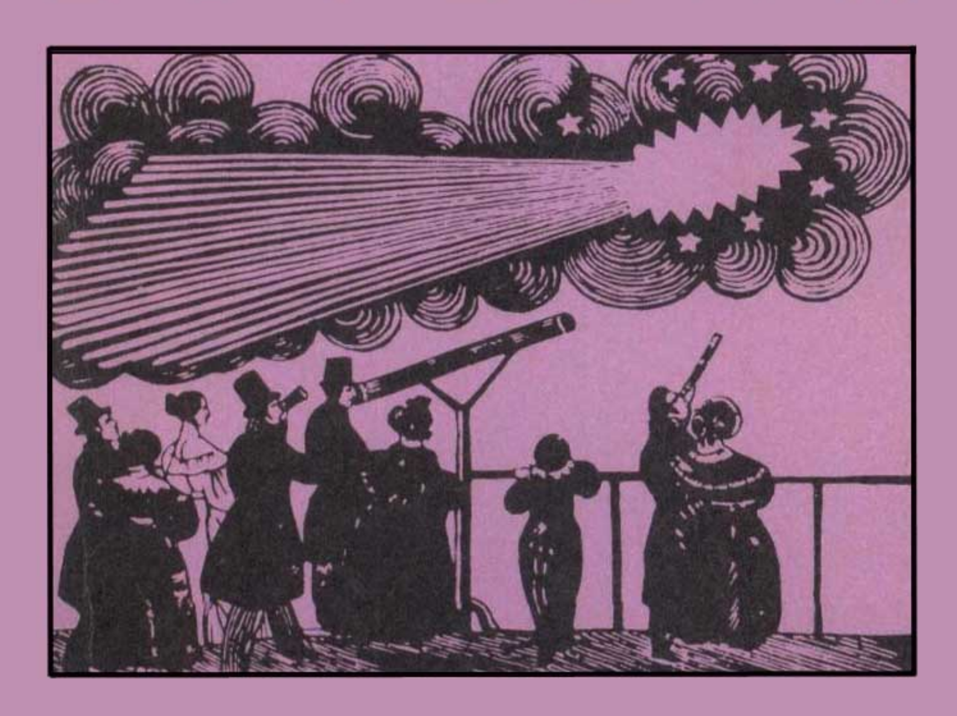
M. M. Dagáiev

OBSERVACIONES del CIELO ESTELAR



Editorial - Mir - Moscú

Observaciones del cielo estelar

М. М. ДАГАЕВ

НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗДНОГО НЕБА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА

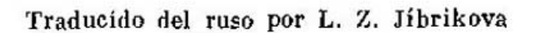
Ciencia popular

Observaciones del cielo estelar

M. M. Dagáiev



EDITORIAL MIR MOSCÚ


Traducido del ruso por L. Z. Jíbrikova

Impreso en la URSS

На испанском языке

ISBN 5-03-002039-X (исп.)
ISBN 5-02-013868-1 (русск.)

Índice

Prefacio

Este pequeño libro está destinado a los aficionados que se inician en astronomía y, por supuesto, no puede abarcar ni siquiera la mínima parte de todo lo interesante que encierra ahora esa ciencia. El libro tiene por objeto dar a conocer a los lectores las principales constelaciones del cielo estelar y los cuerpos celestes interesantes, que son de fácil observación con sencillos medios de aficionado e incluso a simple vista. Las observaciones de las estrellas variables, meteoros, ocultaciones de astros por la Luna y los fenómenos en el sistema de satélites de Júpiter son las más asequibles para los aficionados y al mismo tiempo tienen valor científico.

Simultáneamente, el autor procuró destacar que la astronomía no es una ciencia descriptiva, y aunque es muy interesante, pero con todo es una ciencia compleja físico-matemática que estudia las leyes de la naturaleza y aplica construcciones matemáticas precisas.

A los aficionados a la astronomía que deseen estudiar esta ciencia fascinante se les recomienda la literatura de divulgación científica, cuyo conocimiento y dada la suficiente preparación físico-matemática, permitirá dominar el curso de astronomía general.

El autor considerará cumplida su tarea y quedará satisfecho si entre los numerosos amantes de la astronomía

que lean el presente libro hubiese aunque sea unas cuantas personas que se aficionen a ella y comiencen a estudiarla en serio y a observar de manera regular el cielo estelar.

CAPITULO I

Cielo estelar

1. Constelaciones: regiones del cielo estelar

En una noche oscura, sin luna ni nubes, se ven en el cielo multitud de astros. Según parece, es difícil orientarse en ese majestuoso cuadro de la esfera celeste, que sirvió de inspiración al gran sabio ruso M. V. Lomonósov (1711—1765) al escribir las siguientes líneas:

«Se descolló la sima llena de astros
Cuyo número es infinito y la sima no tiene fondo».

Aún más difícil se presenta el problema de calcular todos los astros visibles en el cielo. Pero el problema difícil a primera vista se hace resoluble si se aplican métodos correctos de solución. Éstos no se formaron de una vez sino en el transcurso de decenios y siglos, y los primeros de ellos tienen sus orígenes en la profunda antigüedad. Precisamente en los albores de la humanidad, cuando apareció por primera vez la producción primitiva, ya las tribus nómadas tenían la necesidad de orientarse durante las migraciones de un territorio a otro para poder encontrar el camino hacia sus estacionamientos anteriores. En una etapa superior del desarrollo de la sociedad humana, al surgir la agricultura se presentó la necesidad de llevar la cuenta, aunque sea en forma aproximada, del tiempo a fin de regular los trabajos agrícolas.

¿Qué salida de la situación creada veían los pueblos antiguos que ni siquiera disponían de los más elementales rudimentos de las ciencias actuales? Lo único que tenían ante sí, mejor dicho encima, era el firmamento, por el cual empezaron a aprender a orientarse poco a poco en el lugar y a contar el tiempo. La necesidad práctica de estudiar el cielo estelar provocó el nacimiento de la ciencia que posteriormente en la Grecia Antigua fue denominada

astronomía, término formado de dos palabras griegas: astron que quiere decir estrella, y nomos, ley.

Pero la propia denominación no sirve en absoluto de prueba de que esa ciencia haya surgido y se haya desarrollado sólo en la Grecia Antigua. La astronomía surgió y se desarrollaba de manera independiente prácticamente en todos los pueblos, pero es lógico que el nivel de su desarrollo se hallara en dependencia directa del de las fuerzas productivas y de la cultura de los pueblos.

Si alguien de los lectores ha realizado un viaje ameno de Moscú a Yaroslavl por la autopista de Yaroslavl no pudo dejar de fijarse en un número relativamente pequeño de curvas a lo largo de todo el camino. La carretera es casi rectilínea, y sus recodos se deben a la necesidad de evitar barrancos, lugares pantanosos o colinas demasiado altas. Y sin embargo, la autopista de Yaroslavl fue construida en su mayor parte siguiendo el trayecto del antiguo camino transitable que desde antaño comunicaba a Moscú con Yaroslavl.

Las dos ciudades son casi coetáneas. Por primera vez Moscú se menciona en las crónicas en 1147, aunque, a juzgar por las recientes excavaciones arqueológicas en el Kremlin, como aldea existía ya en la segunda mitad del siglo X. Yaroslavl fue fundada en 1010. En la misma época apareció la carretera entre las dos ciudades. ¿Cómo se logró tender en aquellos tiempos el camino más corto y asombrosamente recto entre dos ciudades alejadas una de otra? Pues del mismo modo que fue trazado el camino no menos recto de Moscú a Vladímir: orientándose por las estrellas, ya que en aquellos tiempos no existían otros métodos de orientación.

Pero ¿cómo es posible orientarse por las estrellas si en el cielo se ven en gran cantidad? Puede parecer que era fácil perderse en esa abundancia de astros. Precisamente para evitarlo era necesario ante todo agrupar las estrellas brillantes (que en el cielo no son tantas) en figuras con contornos fáciles de recordar. Tales figuras estelares (conjuntos de estrellas o constelaciones) fueron separadas y posteriormente también se agregaron a ellas estrellas débiles, situadas en las zonas de las constelaciones. Es natural que la imaginación de los diversos pueblos creara diferentes constelaciones y si los contornos de éstas coincidían por casualidad, tenían distintas denominaciones. Por lo

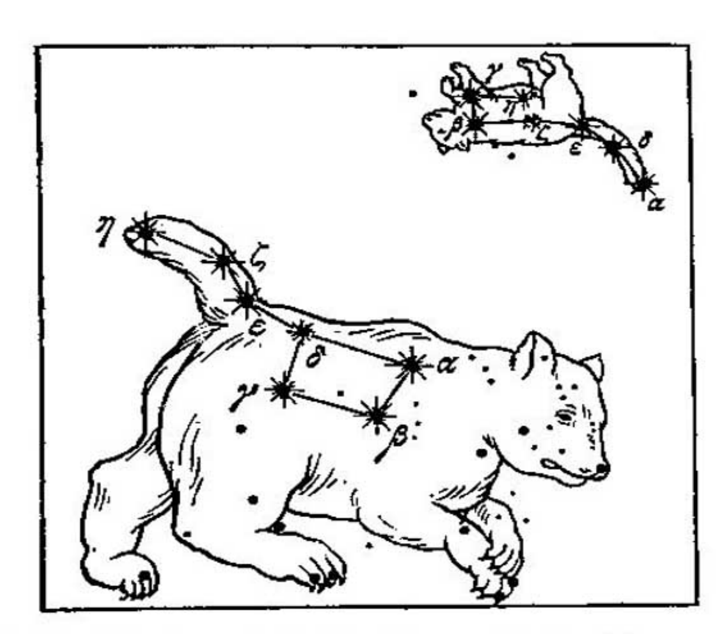


Fig. 1. Constelaciones de la Osa Mayor y la Osa Menor

general, de fuentes para denominar las constelaciones servían los mitos sobre los dioses, las leyendas sobre los héroes legendarios y sucesos relacionados con éstos, los distintos animales y, finalmente, los instrumentos de producción utilizados por los pueblos en la vida cotidiana.

Así, al conocido grupo de siete estrellas brillantes, cuya forma se parece a un cazo, los griegos antiguos le dieron el nombre de Osa Mayor. Si a dicho grupo se le añaden las estrellas débiles situadas cerca del cazo, se puede con suficiente fantasía trazar los límites de esa constelación, de modo que recuerden las formas de un gran animal (fig. 1).

Un mito griego cuenta que la ninfa Calisto fue transformada por Hera, esposa celosa de Zeus, en osa, la cual durante una cacería fue muerta por los perros azuzados por su hijo Arcade (Boyero). Zeus la inmortalizó colocándola en el cielo, donde formó la constelación de la Osa Mayor. Cerca de ésta se disponen también sus perseguidores: el Boyero y los Perros de Caza (Lebreles) (fig. 2), pero esta última constelación apareció en el cielo tan sólo en el siglo XVII, cuando el mito griego había sido completado por los acompañantes del cazador. En la Grecia Antigua

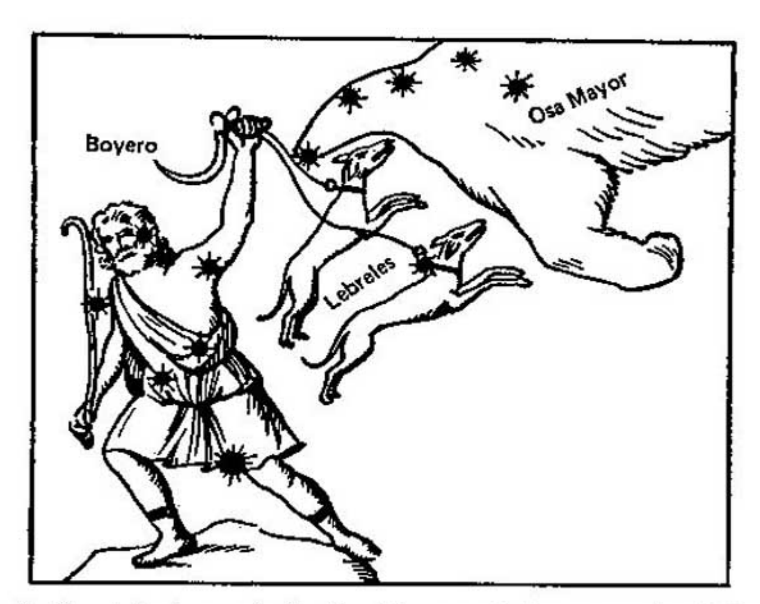


Fig. 2. Constelaciones de la Osa Mayor, el Boyero y los Lebreles

la constelación de la Osa Mayor se designaba también con el nombre de Carro, lo cual menciona Homero en la *Odisea*.

En la Rusia Antigua la misma constelación tenía nombres distintos: Carro, Carroza, Cacerola, Cazuela; los pueblos que habitaban el territorio de Ucrania la llamaban Telega (carro de cuatro ruedas); en el Trasvolga, Cazuela Mayor, y en Siberia, Alce. Hasta ahora en ciertas regiones de la URSS se han conservado dichas denominaciones.

Por analogía, los griegos antiguos dieron el nombre de constelación de la Osa Menor a otro conjunto de 7 estrellas, pero más débiles, situadas cerca de la Osa Mayor y que también tiene configuración parecida a un cazo. Los siberianos llamaron Cazo Menor al mismo conjunto de estrellas, mientras que los pueblos que habitaban la costa del Océano Glacial veían en él un oso blanco con la cabeza levantada y ostentando en su nariz la Estrella Polar emplazada en el propio extremo del mango del cazo (fig. 3).

Un nombre bastante original dieron a estas dos constelaciones los pueblos que vivían en el actual Kazajstán.

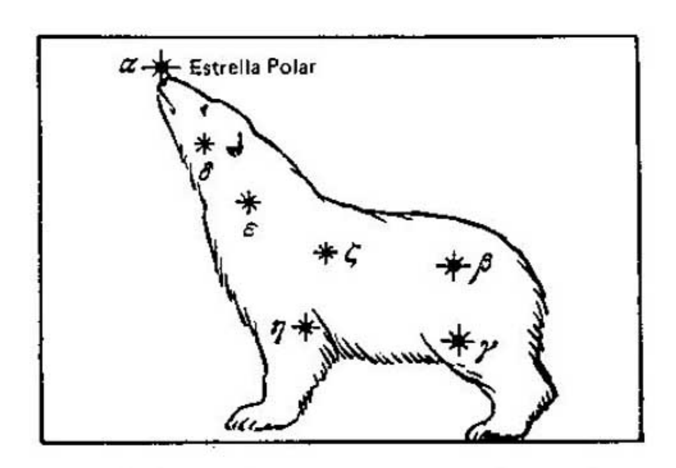


Fig. 3. Constelación de la Osa Menor en forma de oso blanco

Observando el cielo estelar, ellos, al igual que otros pueblos, notaron la inmovilidad de la Estrella Polar, que a cualquier hora del día ocupa invariablemente una misma posición sobre el horizonte. Es natural que estos pueblos, cuya fuente de existencia eran las caballadas,

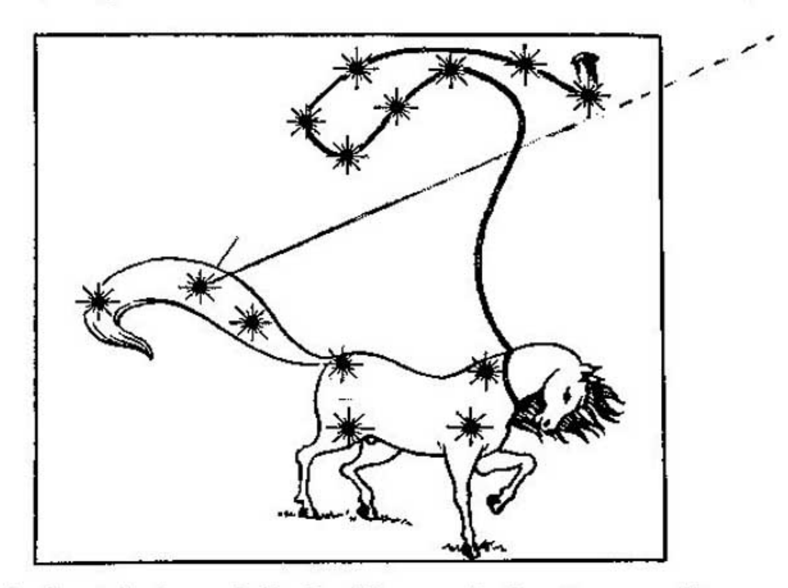


Fig. 4. Constelaciones de la Osa Mayor y la Osa Menor unidas en la constelación del Caballo



Fig. 5. Constelación de Casiopea según los antiguos griegos

llamaran a la Estrella Polar «clavo de hierro» (Temir-Kazik) metido en el cielo, y en las demás estrellas de la Osa Menor veían un lazo atado a dicho «clavo» y puesto en el cuello del Caballo (constelación de la Osa Mayor). En el transcurso del día el Caballo recorría su camino alrededor del «clavo» (fig. 4). De este modo, los kazajos antiguos unían la constelación de la Osa Mayor y la de la Menor en un todo.

Si unimos imaginariamente la estrella central de la cola de la Osa Mayor, mediante una línea recta, con la Estrella Polar y prolongamos esta línea, veremos la constelación de Casiopea cuya configuración se parece a la letra M dada vuelta y un poco estirada (mejor aún a la letra W latina). Los griegos dieron el nombre a dicha constelación en honor a la reina mítica Casiopea viendo en su forma a la reina sentada en un trono (fig. 5). El



Fig. 6. Constelación de Casiopea según los bielorrusos

pueblo bielorruso veía en esta constelación a dos labradores segando hierba (fig. 6).

Las estrellas relativamente brillantes, situadas cerca de la constelación de Casiopea fueron agrupadas por los antiguos griegos en cuatro constelaciones con los nombres de Cefeo, Andrómeda, Perseo y Pegaso. El contorno de la constelación de Cefeo que limita con la de Casiopea por el oeste, se asemeja a un sillón con el respaldo alto, o a un trono. Al este limita con Casiopea la constelación de Perseo, cuya figura recuerda un compás o también a un hombre corriendo. Bajo la constelación de Casiopea, junto a la de Perseo, están dispuestas en forma de cadena estirada cuatro estrellas brillantes de la constelación de Andrómeda, una de las cuales (la primera a la derecha) también integra simultáneamente la constelación vecina de Pegaso, cuyas estrellas brillantes forman una figura parecida a un cuadrado, por lo cual la llaman con frecuencia Cuadrado de Pegaso.

Todas esas cinco constelaciones están unidas en un curioso mito de la Grecia Antigua. El rey etíope Cefeo y su esposa Casiopea tenían una hija, la bella Andrómeda.

Orgullosa de la belleza de su hija, Casiopea anunció que Andrómeda era más hermosa que cualquiera de las nereidas, bellas jóvenes residentes en las profundidas del mar, hijas numerosas de Nereo, el rey del Mar Egeo. Las nereidas ofendidas se quejaron al principal rey del mar Poseidón, quien se enfureció y mandó a un monstruo que devoraba a las personas a las costas de Etiopía. Un oráculo etíope predijo que el país podría liberarse del monstruo si se sacrificaba a Andrómeda. Así tuvieron que hacer. Andrómeda fue encadenada a una roca del litoral; sus brazos abiertos hacia ambos lados y encadenados están representados por una cadena de estrellas brillantes. Al mismo tiempo Perseo, un joven héroe, cumpliendo la orden de su soberano Polidectes, rey de la isla de Cerifos en el Mar de Creta, penetró en la guarida de la Medusa monócula, mujer monstruo, que en lugar de cabellos tenía serpientes y transformaba en piedra a todo lo que miraba. Perseo sorprendió a Medusa durmiendo, pero por sí acaso se le acercó de espaldas, mirando el reflejo de la misma en su escudo pulido. Cuando Medusa fue decapitada por Perseo, de su torso nació el caballo alado Pegaso. Perseo tomó la cabeza de Medusa y voló en sus sandalias aladas regresando a la isla de Cerifos. Según otra versión, Perseo regresó volando en Pegaso. Pero por el camino a su tierra vio a Andrómeda atada a una roca y a un monstruo a punto de devorarla. Perseo dirigió la mirada de la Medusa hacia el monstruo, el cual quedó petrificado. Perseo soltó a Pegaso que cayó al mar. Andrómeda liberada se casó con Perseo y abandonó con él Etiopía. Según una de las leyendas el monstruo eliminado por Perseo se llamaba Ballena, por lo que seguramente una de las constelaciones situada mucho más abajo de Andrómeda y Pegaso, debajo de la constelación de los Peces, recibió el nombre de Ballena.

Por las noches de invierno en la parte sur del horizonte resplandece la constelación más impresionante del cielo: la de Orión, que salta a la vista por sus siete estrellas brillantes, 4 de las cuales tienen una posición semejante a una X gigantesca, y las tres restantes que forman una fila estirada y cruzan dicha letra por el centro. A la derecha de las estrellas brillantes superiores y a la izquierda y más arriba se perciben dos arcos formados por estrellas débiles dirigidas con su concavidad hacia las

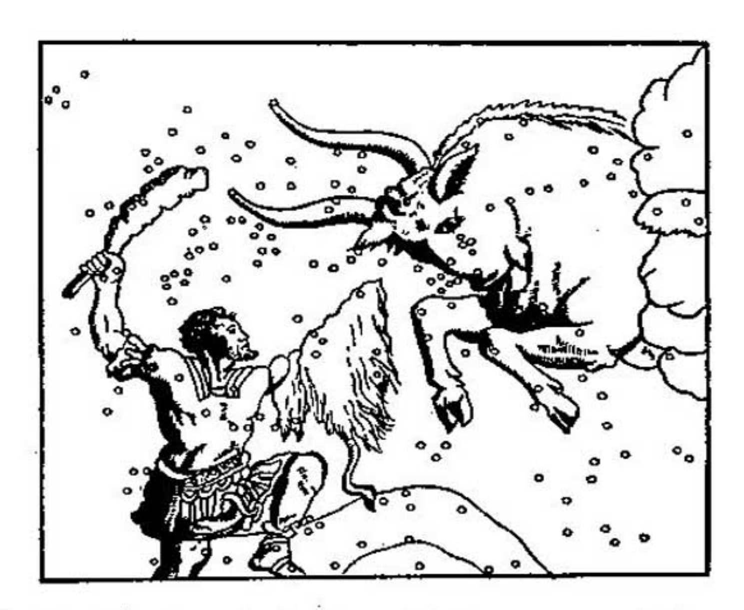


Fig. 7. Constelacione sde Orión y del Toro representadas por los antiguos griegos

estrellas brillantes. Los antiguos griegos le dieron a esa constelación (fig. 7) el nombre del gigante mítico, el cazador Orión, y lo representaban cubriéndose con un escudo de cuero de león (el arco derecho de estrellas débiles) y levantando una maza (el arco superior izquierdo de estrellas débiles) contra el Toro (Tauro) que lo ataca por la derecha. Tres estrellas brillantes centrales simbolizaban el cinturón del cazador, del cual pendía la espada, o sea, una serie de estrellas débiles situadas bajo el cinturón. La astronomía actual también utiliza con frecuencia los términos de espada y cinturón de Orión.

En el siglo III antes de nuestra era, los astrónomos griegos (alejandrinos) agruparon los nombres de las constelaciones en un sistema único, que posteriormente fue imitado por la ciencia europea conservándolo hasta nuestros días, en particular los nombres de las constelaciones del hemisferio boreal del cielo. Pero las constelaciones del hemisferio austral llevan nombres más modernos (Telescopio, Máquina Neumática, Reloj, etc.), ya que los europeos empezaron a estudiar realmente dicho hemisferio tan sólo en los siglos XVIII y XIX.

En la actualidad, por constelaciones no se entienden los conjuntos de estrellas sobresalientes, sino zonas del cielo estelar, de modo que todas las estrellas (tanto brillantes como débiles) están incluidas en las constelaciones. Los límites y los nombres existentes de las constelaciones fueron adoptados en 1922 en el I Congreso de la Unión Astronómica Internacional (UAI). Todo el cielo está dividido en 88 constelaciones, entre las cuales 31 se hallan en el hemisferio celeste boreal y 48, en el austral. Las 9 constelaciones restantes (Peces, Ballena, Orión, Unicornio, Sextante, Virgen, Serpiente, Serpentario y Águila) están situadas en ambos hemisferios celestes, a ambos lados del imaginario círculo máximo en el cielo, llamado ecuador celeste, lo que en latín significa «nivelador», ya que divide la bóveda celeste en dos hemisferios iguales.

Más adelante explicaremos cómo se puede determinar la posición aproximada del ecuador celeste, y ahora subrayemos que desde el territorio de la Unión Soviética son visibles todas las constelaciones del hemisferio boreal y algunas del austral, según sea la latitud geográfica del punto de observación: cuanto más al sur esté tanto más accesibles serán para la observación las constelaciones del hemisferio austral. Así, en Leningrado se percibe sólo una parte de las estrellas de la constelación del Escorpión, y además muy cerca del horizonte, en tanto que la del Centauro no se ve en absoluto. Pero en Armenia, Georgia y Uzbekistán se ven ya muchas estrellas de la constelación del Centauro y por completo la del Escorpión.

No todas las constelaciones pueden ser localizadas en el cielo con facilidad, ya que muchas de ellas están formadas de estrellas débiles y sólo alrededor de 30 constelaciones se destacan marcadamente por sus contornos y estrellas brillantes. Son estas últimas las constelaciones de la Osa Mayor, Pegaso, Casiopea, Cochero, León y otras. Las áreas ocupadas por las constelaciones en el cielo y el número de estrellas en ellas son muy desiguales. A propósito sea dicho, las distancias entre las posiciones visibles de las estrellas se miden en grados, minutos y segundos del arco, mientras que las áreas ocupadas por las constelaciones en el cielo, en grados cuadrados. Entre las constelaciones brillantes la mayor área (1 280 grados cuadrados) es la de la Osa Mayor que, además de las siete

estrellas brillantes del cazo, cuenta con otras 118 estrellas visibles a simple vista. La preciosa y brillante constelación de la Cruz del Sur, la menor de todas, que está situada en el hemisferio celeste austral y es invisible desde el territorio de la URSS, tiene un área de 68 grados cuadrados y consta de cinco estrellas brillantes y 25 débiles. Por lo general, es poco conocida la constelación más pequeña del hemisferio boreal, ya que la integran tan sólo 10 estrellas débiles visibles a simple vista; ella se llama Caballo Menor, tiene un área de 72 grados cuadrados y raya con el sudoeste de la constelación de Pegaso.

El mayor número de estrellas brillantes, a saber, 12, lo contiene la constelación del Escorpión, pero la más hermosa de todo el cielo es seguramente la mencionada constelación de Orión, formada por 120 estrellas visibles a simple vista, 7 de las cuales se destacan por su brillo.

Las principales estrellas de cada constelación tiene unas u otras designaciones. En la antigüedad a las estrellas más brillantes de cada constelación se les daban nombres propios, muchos de los cuales, principalmente los griegos y árabes, llegaron hasta nuestros días. Así, siete estrellas brillantes del cazo de la Osa Mayor recibieron los siguientes nombres: Dubhé, Mérak, Phegda, Megrez, Alioth, Mizar y Benetnash. La estrella más brillante de la constelación del Boyero al principio se llamaba Arcade (rey de Arcadia), en griego, Pastor, posteriormente y hasta ahora, Arturo, es decir, Cazador de la osa (del griego «arctos», osa, y «terevtes», cazador). En la constelación de Perseo la estrella más brillante, cuya luminosidad variable fue advertida por los árabes hace casi 1000 años, fue designada con el nombre de El-Gul (actualmente, Algol), lo que significaba Demonio, que a juicio de los árabes se destacaba por la hipocresía y falsedad. Los antiguos griegos, por lo visto, sabían también de la variabilidad del brillo de dicha estrella y le atribuían efectos siniestros. No en vano en sus leyendas esa estrella se consideraba el único ojo de la rabiosa Medusa, capaz de petrificar a todo ser viviente. Capella o, traducido del latín, Cabra, fue llamada la estrella de 1ª magnitud de la constelación del Cochero, representada en los naipes antiguos en forma de hombre-cochero con un látigo y dos cabritos en el brazo izquierdo y una cabra en el hombro.

Con el aumento del número de estrellas a estudiar se

hacía cada vez más difícil recordar sus nombres, en virtud de lo cual a partir de 1603 empezaron a designarse con las letras del alfabeto griego las estrellas relativamente brillantes, y como regla, en orden de disminución de la magnitud de las mismas, aunque esta regla tiene muchas excepciones. A título de ejemplo mencionemos la Osa Mayor, cuyas estrellas no se designan con letras griegas en orden de disminución del brillo, sino según el contorno del cazo (véase la fig. 1). Como resultado tenemos que Alioth, la estrella más brillante de la constelación, no se designa con la primera letra (α) del alfabeto griego sino con la quinta (ε) (véase la tabla 1 en la pág. 174).

En la constelación de los Gemelos la estrella α (Castor) es más débil que la α (Pólux), en la de Orión la estrella Betelgeuse (α) es más débil que la Rigel (β), en la de Pegaso la estrella más brillante se designa con la letra ε, en tanto que la estrella α (Markab) es tan sólo de 3ª magnitud. En la constelación del Dragón la estrella más brillante es la Etamín (γ), le sigue la η, y la α (Tubán) ocupa el octavo lugar. En la constelación del Sagitario con la letra α está designada sólo la estrella de 16ª magnitud, mientras que las estrellas más brillantes llevan las letras ε (Kaus Australis), σ (Nunki), ξ y δ.

Mucho más tarde para designar las estrellas fue introducida la numeración digital dentro de cada constelación, que ahora se usa, como regla, sólo para las estrellas débiles, que en una serie de constelaciones también se designan con letras latinas. Las designaciones de las estrellas se ponen en las actuales cartas del cielo estelar y en los registros especiales de las estrellas que se llaman catálogos estelares. Hasta el momento, los astrónomos han registrado en los catálogos estelares todas las estrellas visibles a simple vista y muchas que son accesibles a la observación sólo con telescopios. El registro de las estrellas muestra que a simple vista son accesibles a la observación en todo el cielo cerca de cinco mil quinientas estrellas, con la particularidad de que desde el territorio de la URSS se ven tan sólo unas tres mil. A causa de su débil brillo la gran cantidad restante de estrellas son inaccesibles a simple vista.

El estudio cada vez más detallado de las estrellas obligó a introducir la evaluación cuantitativa de su

«luminosidad visible» o, como ahora se ha adoptado llamarlo más correctamente, brillo (magnitud). Ya la primera y superflua contemplación del cielo estelar evidencia que las estrellas tienen diferente brillo: unas son muy brillantes y atraen en seguida la atención del observador, otras, menos brillantes, no saltan a la vista, y las terceras son tan débiles que no se captan a simple vista y requieren para su observación instrumentos ópticos. Con el objeto de determinar con precisión el brillo de las estrellas es necesario adoptar cierta escala numérica. Se podría medir la cantidad de luz que llega de la estrella al observador (a la Tierra) en unidades habituales de energía luminosa, las cuales se utilizan en la física. Sin embargo, tal sistema de valoración del brillo de las estrellas resultaría en la práctica incómodo por dos motivos:

en primer lugar, la cantidad de luz que llega desde las estrellas hasta nosotros es tan pequeña que su medición en unidades físicas universalmente adoptadas equivaldría a la medición de las piezas del mecanismo de un reloj de pulsera en kilómetros;

en segundo lugar, en caso de ser adoptada, la graduación del brillo de las estrellas sería tan grande que la escala del brillo habría resultado extraordinariamente voluminosa, por lo cual habría sido imposible recordar los valores de la magnitud incluso de las estrellas más brillantes.

Por esta razón, el brillo de las estrellas no se expresa en unidades físicas absolutas (o luminotécnicas), sino en una escala convencional especial introducida ya en el siglo II antes de nuestra era por el astrónomo griego Hiparco de Nicea (180—110 a.n.e.), cuando no existían ni indicios sobre las unidades físicas de medición de la energía luminosa. Dicha escala se llama escala de magnitudes estelares (o siderales). Es probable que la propia denominación de la escala haya resultado poco acertada, por cuanto ella no determina las dimensiones lineales de las estrellas, sino que sólo permite comparar entre sí su brillo. Actualmente la escala de las magnitudes estelares ha sido considerablemente perfeccionada y para determinar el brillo de las estrellas se utilizan instrumentos ópticos de precisión.

Si un principiante aficionado a la astronomía pregunta

cómo se puede valorar el brillo de las estrellas según la escala convencional, que se acuerde de la medición de la temperatura. Pues ésta es una característica física determinada y, no obstante, se mide en escala convencional, denominada termométrica.

La escala de las magnitudes estelares se basa en la percepción de la luz por el ojo. Resulta ser que el ojo humano es capaz de discernir claramente la diferencia de intensidad de las fuentes luminosas, si el brillo de una de ellas es aproximadamente 2,5 veces mayor que el de la otra. De esa propiedad del ojo la ciencia supo sólo a fines del siglo XVIII y es un caso particular de la ley psicofisiológica (psicofísica) más general, formulada en el siglo XIX por E. Weber (1795—1878) y G. Fechner (1801—1887). Esa ley enuncia: la variación de una sensación cualquiera es directamente proporcional al cambio relativo del factor irritante o, dicho de otro modo, si la fuerza de irritación (estímulo) aumenta en progresión geométrica, la percepción (sensación) crece en progresión aritmética. Nuestros órganos de los sentidos, incluidos los ojos, no reaccionan a la variación absoluta, sino a la relativa del irritante externo y si, hablando metafóricamente, a dos bombillas eléctricas encendidas de igual potencia conectamos otras dos iguales, registraremos con certeza el aumento del alumbrado; pero si las mismas dos bombillas añaden su luz a la radiación de diez lámparas análogas, nuestra vista no notará en absoluto o casi no percibirá la diferencia de iluminación.

Es sabido que las leyes de la naturaleza actúan de manera objetiva, es decir, independientemente de la conciencia del hombre, y se hace bien comprensible por qué Hiparco, sin tener la menor idea de la ley de Weber—Fechner, la utilizó inconscientemente al implantar su escala de magnitudes estelares. Hiparco atribuyó a las estrellas más brillantes la primera magnitud estelar; las siguientes según su graduación de brillo (es decir, aproximadamente 2,5 veces más débiles) las consideró estrellas de segunda magnitud estelar; las estrellas cuyo brillo es 2,5 veces menor que el de las de segunda magnitud fueron llamadas de tercera magnitud, y así sucesivamente; de sexta magnitud estelar fueron designadas las estrellas que se encuentran en el límite de visibilidad a simple vista. Según tal graduación del brillo de las

estrellas resultaba que las estrellas de sexta magnitud estelar eran 97,66 veces más débiles que las estrellas de la primera. Partiendo de ello el astrónomo inglés N. R. Pogson (1829—1891) propuso en 1856 considerar estrellas de sexta magnitud aquellas cuyo brillo es 100 veces más débil que el de las estrellas de primera magnitud. Esa propuesta fue adoptada por todos los astrónomos y hasta ahora sirve de base para determinar el brillo de las estrellas. En cualquier intervalo de la escala la diferencia de cinco magnitudes estelares significa una diferencia de cien veces en el brillo de las estrellas. Entonces la relación entre el brillo de las estrellas de dos magnitudes estelares enteras vecinas no es de 2,5 sino de 2,512 veces, lo cual no influye en modo alguno en la precisión de la medición de las magnitudes estelares.

El principio de confección de la escala de magnitudes estelares evidencia que cuanto más débil es la estrella tanto mayor es su magnitud estelar visible, lo cual permite expresar en magnitudes estelares el brillo de las estrellas débiles, invisibles a simple vista, pero detectables por los telescopios, sin perturbar la integridad de la propia escala: a medida que se van descubriendo estrellas más débiles, la escala prosigue en el orden de aumento de las magnitudes estelares (10ª, 11ª, 12ª, etc.). En la actualidad se conocen estrellas de 24ª magnitud, cuyo brillo es mil millones de veces más débil que el de las estrellas de primera magnitud.

La determinación del brillo de las estrellas en magnitudes estelares, realizada con métodos de medición precisos y aplicando instrumentos especiales, los llamados fotómetros, ha mostrado que el brillo de las estrellas no puede expresarse con exactitud con números enteros de las magnitudes estelares (1, 2, 3, etc.), ya que el brillo de las estrellas es muy variado. En virtud de ello la escala se divide en décimas, centésimas e incluso milésimas fracciones (según el grado de precisión requerido) de las magnitudes estelares. De ahí que el brillo de la mayoría de las estrellas se exprese en números quebrados del valor de la magnitud estelar y se designe siempre con la letra latina *m*, por ejemplo, $2{,}12^m$; $3{,}56^m$; $5{,}78^m$, etc.

A título de ejemplo aducimos el brillo expresado en magnitudes estelares de las siete principales estrellas de

la Osa Mayor (véase la fig. 1):

Estrella	Brillo	Estrella	Brillo
α Dubhé	$1{,}95^m$	ε Alioth	$1{,}86^m$
β Mérak	$2{,}44^m$	ζ Mizar	$2{,}17^m$
γ Phegda	$2{,}54^m$	η Benetnash	$1{,}91^m$
δ Megrez	$3{,}44^m$		

Las mediciones precisas del brillo de las estrellas de gran luminosidad demostraron que el brillo de algunas de ellas es mayor que el de las de primera magnitud estelar; tales estrellas se consideran de magnitud estelar nula; por ejemplo, el brillo de la estrella α de la Lira (Vega) es de $0{,}14^m$; el de la estrella α del Boyero (Arturo), $0{,}24^m$; de la α del Cochero (Capella o Cabra), $0{,}21^m$, etc. En fin, dos estrellas, la Canopo (la α de la Quilla) y la Sirio (la α del Can Mayor), son más brillantes que las de la magnitud estelar nula, por lo cual se les atribuyó el signo negativo: $-0{,}89^m$ y $-1{,}58^m$, respectivamente.

Mediante las magnitudes estelares puede expresarse el brillo del Sol ($-26{,}8^m$), de la Luna ($-12{,}7^m$ con luna llena) y de los planetas.

Los lectores que conocen los conceptos matemáticos de potencia y logaritmos de los números, comprenderán que la escala de las magnitudes estelares es una progresión geométrica con el denominador igual a 2,512, y entonces la relación entre el brillo de dos objetos E_1/E_2 con magnitudes estelares m_1 y m_2 será

$$\frac{E_1}{E_2}=2{,}512^{m_2-m_1},$$

por cuanto los objetos más brillantes tienen menor magnitud estelar y viceversa.

Por lo general, esta fórmula, denominada de Pogson, se utiliza en forma logarítmica y, por cuanto $\log 2{,}512 = 0{,}4$,

$$\log \frac{E_1}{E_2}=0{,}4\,(m_2-m_1).$$

Como ejemplo de aplicación de esta fórmula calculemos la relación de la iluminación de un área de superficie terrestre por el Sol y la Luna llena, situados a igual altura sobre el horizonte. Puesto que la magnitud estelar visible del Sol $m_1 = -26{,}8^m$, y la de la Luna llena

$m_2 = -12{,}7^m$,

$$\log \frac{E_1}{E_2} = 0{,}4 \cdot (-12{,}7 + 26{,}8) = 0{,}4 \cdot 14{,}1 = 5{,}64,$$

de donde $\frac{E_1}{E_2} = 4{,}37 \cdot 10^5 \approx 4{,}4 \cdot 10^5$, es decir, el Sol ilumina dicha área con una intensidad 440 mil veces mayor que la Luna llena.

De manera análoga es fácil establecer que el brillo de la Luna llena ($m_1 = -12{,}7^m$) es 30 veces mayor que el de la Luna en la fase del cuarto creciente ($m_2 = -9{,}0^m$):

$$\log \frac{E_1}{E_2} = 0{,}4\,(-0{,}9 + 12{,}7) = 0{,}4 \cdot 3{,}7 = 1{,}48,$$

o bien,

$$\frac{E_1}{E_2} = 30.$$

La misma fórmula permite determinar las magnitudes estelares m de los cuerpos luminosos, comparando su brillo E con el brillo E_1 de algún astro de conocida magnitud estelar m_1, con la particularidad de que la relación E/E_1 se mide con un alto grado de precisión con ayuda de fotómetros. Llámanse visuales las magnitudes estelares que se determinan a ojo (visualmente), aunque sea mediante instrumentos ópticos. Hasta ahora se trataba precisamente de ellas.

En la práctica de la astronomía hoy día se ha introducido ampliamente la fotografía, que permite fotografiar estrellas mucho más débiles que las observadas por la vista con los telescopios más potentes. Así, uno de tales telescopios permite ahora fotografiar estrellas hasta de 25^m, es decir, cuyo brillo es 10 mil millones de veces más débil que el de una estrella de magnitud estelar nula.

Pero las placas fotográficas reaccionan a la luz de otro modo que la vista. Hay placas sobre las que la luz roja no actúa en absoluto, la luz amarilla, muy poco, y en cambio las luces azul, violeta y ultravioleta influyen de manera extraordinaria. Por esta razón, en tales placas fotográficas las estrellas de color rojizo, por ejemplo, la Antares (la α del Escorpión) o Betelgeuse (la α de Orión), brillantes para el ojo, saldrán más débiles, en tanto que las estrellas azuladas, más brillantes. Esto fue lo que obligó a los astrónomos a adoptar otra escala de

magnitudes estelares basada en la acción de la luz sobre la placa y denominada escala de magnitudes estelares fotográficas. Se confecciona absolutamente igual que la escala de magnitudes estelares visuales, pero el brillo de las estrellas reflejado en ella difiere del brillo visual según el color de la estrella, lo cual permite expresar numéricamente su color partiendo de la diferencia de las magnitudes estelares fotográfica y visual. Esta diferencia se llama índice de color y es una de las importantes características de la estrella, pues está relacionada con su temperatura.

El índice de color de las estrellas rojas y amarillas es positivo y alcanza $+2{,}1$ de la magnitud estelar, en las blancas es próximo al cero, y en las azuladas es negativo, pero no inferior a $-0{,}5^m$.

Para evitar las particularidades fisiológicas individuales de la vista en los distintos observadores y tener la posibilidad de determinar los índices de color de las estrellas débiles, se usa ampliamente otra escala de apreciación del brillo de las estrellas, denominada escala de magnitudes estelares fotovisuales.

Con este objeto las estrellas se fotografían en placas fotográficas especiales, que reaccionan bien a la luz amarilla y verde (al igual que el ojo humano), además ante la placa se colcca un cristal limpio de color amarillo (filtro de luz amarilla). La experiencia muestra que las magnitudes estelares de las estrellas, determinadas por este método y llamadas en este caso fotovisuales, se aproximan tanto a las magnitudes estelares visuales que prácticamente coinciden con ellas y en la actualidad los índices de color se calculan por la diferencia de magnitudes estelares fotográficas y fotovisuales: $c = m_f - m_{fv}$.

En la astronomía existen varias escalas de magnitudes estelares que se emplean según los objetivos de la investigación. Así, en los últimos 30 años se propagaron ampliamente los métodos fotoeléctricos de estudio del brillo de las estrellas con ayuda de fotocélulas, las cuales bajo la acción de la luz generan corriente eléctrica (corriente fotoeléctrica). Este fenómeno fue descubierto ya en 1888—1890 por el físico ruso A. G. Stolétov (1839—1896). Las modernas fotocélulas sensibles engendran corriente eléctrica débil por la acción de la iluminación insignificantemente pequeña, pero dispositivos especiales

amplifican esta corriente hasta valores fáciles de medir con gran precisión.

El estudio de la radiación de las estrellas a través de los filtros de distintos colores permite obtener una serie de importantes características físicas de las mismas.

A continuación, para simplificar, la magnitud estelar visual o fotovisual la denominaremos simplemente magnitud estelar, especificando siempre cualquiera otra.

Ahora, cuando ya conocemos cómo se mide el brillo de las estrellas, cabe subrayar que las estrellas muy brillantes de magnitud estelar nula y primera no son tantas, nada más que 24 en todo el cielo, mientras que las débiles son miríadas. Ello se explica por el hecho de que el brillo de las estrellas depende no sólo de su luminosidad real, sino también de las distancias: cuanto más lejos se encuentran de nosotros las estrellas tanto más débiles parecen. Sin embargo, el color de las mismas depende de la temperatura superficial.

El hemisferio boreal del cielo cuenta en total cerca de 2900 estrellas visibles a simple vista, es decir, hasta 6^m.

Denominación	Símbolo en la constelación	Magnitud estelar visual	Magnitud estelar fotoeléctrica	Indice de color	Color	Temperatura, K
		m	m		m	
Sirio	α del Can Mayor	−1,58	−1,46	0,00	blanco	11 000
Vega	α de la Lira	+0,14	+0,03	0,00	blanco	11 000
Capella	α del Cochero	0,21	+0,08	+0,80	amarillo	5 200
Arturo	α del Boyero	0,24	−0,04	+1,23	naranja	4 100
Rigel	β de Orión	0,34	+0,12	−0,03	blanco	11 500
Proción	α del Can Menor	0,48	0,38	+0,42	amarillo	6 900
Altaír	α del Águila	0,89	0,77	+0,22	blanco	8 400
Betelgeuse	α de Orión	0,92	0,85	+1,85	rojo	3 100
Aldebarán	α del Toro	1,06	0,75	+1,54	naranja	3 500
Pólux	β de los Gemelos	1,21	1,14	+1,00	naranja	4 600
Antares	α del Escorpión	1,22	1,35	+1,83	rojo	3 100
Espiga	α de la Virgen	1,25	0,98	−0,23	azul—blanco	16 200
Fomalhaut	α del Pez Austral	1,29	1,16	+0,09	blanco	9 800
Deneb	α del Cisne	1,33	1,25	+0,09	blanco	9 800
Régulo	α del León	+1,34	+1,35	−0,11	blanco	13 100

Pero como en el hemisferio boreal de la Tierra se ven no sólo las estrellas del hemisferio celeste boreal, sino también muchas del austral, de las 24 estrellas más brillantes, enumeradas en la tabla, 15 son accesibles para la observación desde el territorio de la URSS. Puesto que en la actualidad, en muchas publicaciones de manuales y guías sobre astronomía, el brillo de las estrellas se da en magnitudes estelares fotoeléctricas, en la tabla que aducimos, además de la magnitud estelar visual indicamos la fotoeléctrica, algo distinta de la visual.

2. Cartas astronómicas y guía celeste

Ya se ha mencionado que el cielo estelar está dividido en 88 constelaciones y que para estudiarlo se confeccionan mapas celestes (cartas astronómicas). El estudio de la bóveda celeste y de sus cuerpos por separado se realiza con diferentes objetivos, como son la determinación de las posiciones exactas de las estrellas, de su brillo, de los índices de color, de los espectros, etc. Un problema no menos importante es el de investigar escrupulosamente las propias constelaciones. Sin tales conocimientos es imposible realizar observaciones cualitativas de los meteoros, cometas y satélites artificiales de la Tierra, lo cual en los tiempos presentes es muy necesario.

Los buenos conocimientos del cielo estelar con frecuencia conducen a interesantes descubrimientos no sólo de los astrónomos profesionales sino también de los aficionados a la astronomía. Basta recordar que la estrella nueva, cuya explosión fue registrada en 1901 en la constelación de Perseo, fue descubierta por A. A. Borisiak y A. A. Baranovski, alumnos de un gimnasio de Kíev; B. V. Ókunev, aficionado a la astronomía, detectó en 1920 la explosión de una estrella nueva en la constelación del Cisne; el inglés Prentis descubrió en 1934 una estrella nueva en la constelación de Hércules, y la estrella nueva de 1936 en la constelación del Lagarto fue descubierta por S. S. Norman, joven soviético aficionado a la astronomía; A. S. Kamenchuk, guardavías soviético aficionado a la astronomía, registró en 1946 una estrella en la constelación de la Corona Boreal, cuya repetida explosión habían pronosticado para dicho año los astrónomos soviéticos, profesores P. P. Parenago y B. V. Kukarkin.

Se podrían aducir muchos casos de descubrimientos de estrellas variables, cometas, radiantes de los flujos meteóricos, etc., hechos por los aficionados soviéticos y extranjeros. Para hacerlo hay que estudiar bien el cielo estelar, lo cual es imposible sin los mapas celestes.

Según los fines de las observaciones se confeccionan y se emplean distintos tipos de mapas celestes. En la etapa inicial de observaciones son bien aceptables mapas de pequeña escala, en los que se representan sólo las principales constelaciones con estrellas brillantes. Al pasar a observaciones más complejas hace falta utilizar mapas más detallados en los que se representan todas las estrellas accesibles a simple vista. Para observaciones especiales se construyen mapas detallados de gran escala e incluso mapas fotográficos en los que están representadas las estrellas débiles, visibles únicamente con telescopios.

En los mapas las estrellas se representan con círculos (o circunferencias) de distintos diámetros según su brillo que, como ya sabemos, se expresa en magnitudes estelares. Cuanto más brillante es la estrella, es decir, cuanto menor es su magnitud estelar, tanto mayor es el círculo con que se marca. Las estrellas binarias y variables, los cúmulos de estrellas y las nebulosas se marcan con signos especiales que se explican en el margen de los mapas.

Para que la representación de las constelaciones en el mapa no difiera de su configuración en el cielo, es necesario que las estrellas se ilustren en los mapas con debida precisión. A ello contribuye el propio cielo estelar que imaginamos en forma de una enorme esfera, una mitad de la cual vemos sobre el horizonte y la otra queda oculta bajo la superficie terrestre. Aunque realmente no existe tal esfera celeste y a nosotros nos rodea un espacio infinito, sin embargo, la impresión que produce se debe a que los astros celestes están alejados de la Tierra a distancias colosales, que involuntariamente nos parecen iguales. Hasta los cuerpos terrestres, situados de nosotros a distancias de más de dos kilómetros, parecen estar igualmente alejados de nosotros, si es que no hay puntos de referencia que indiquen la diferencia en su alejamiento, pero a distancias considerables no ayudan ni los puntos de referencia. Las distancias hasta los astros celestes son tan grandes que son difíciles de concebir por nuestra imaginación.

Tratemos de imaginárnoslas comparando la distancia hasta el Sol y la estrella más próxima con el diámetro de nuestra Tierra, que es de cerca de 12 750 km. Pues bien, la Tierra está alejada del Sol a casi 150 millones de km, o sea, a 11 740 diámetros suyos. El Sol esferoidal, formado de gases calientes, con 6000 °K de temperatura en su superficie visible, se nos presenta como un disco luminoso con diámetro angular igual a $32' \approx 0{,}5°$. Partiendo de estas dimensiones visuales y la distancia hasta él, es fácil calcular que el diámetro lineal, real, del Sol es 109 veces mayor que el de la Tierra. La estrella brillante Tolimán, o la α del Centauro (desde el territorio de la URSS no se ve), la más próxima a nosotros, tiene dimensiones lineales iguales a las del Sol, pero está situada de nosotros 275 000 veces más distante que el Sol. La inmensidad de esas distancias puede ser ilustrada en un modelo en el que la Tierra está representada con una mostacilla de 1 mm de diámetro, y el Sol y Tolimán, con dos bolas de croquet de 11 cm de diámetro cada una. Dicha mostacilla debe emplazarse a 12 m de una bola y a 3200 km de la otra, es decir, a una distancia igual a la de Moscú a Krasnoyarsk. Es lógico que, dadas las distancias tan enormes, todos los cuerpos celestes extraterrestres se nos presenten situados en la superficie interior de la imaginaria esfera celeste de un radio indefinido, pero inmenso, mientras que nosotros involuntariamente nos sentimos colocados en el centro de la misma.

Para determinar la posición visible de los cuerpos celestes y encuadrarlos en las cartas astronómicas con precisión exacta, en el firmamento se traza mentalmente una red de círculos, semejante a la de meridianos y paralelos geográficos imaginados en la superficie terrestre. Esas dos redes recibieron el nombre de cuadriculados, pero la primera se llama cuadriculado de coordenadas celestes ecuatoriales, y la segunda, de coordenadas geográficas. La palabra «coordenadas» significa los números con ayuda de los cuales se establece la posición de los puntos (o cuerpos) en la superficie o en el espacio.

Por cuanto la Tierra gira alrededor de su eje del Oeste al Este, nos parece que el firmamento gira en sentido contrario, lo que explica la salida y la puesta de los astros. Es bien evidente que la rotación diurna visible de la bóveda celeste se realiza alrededor del eje de la Tierra, pero

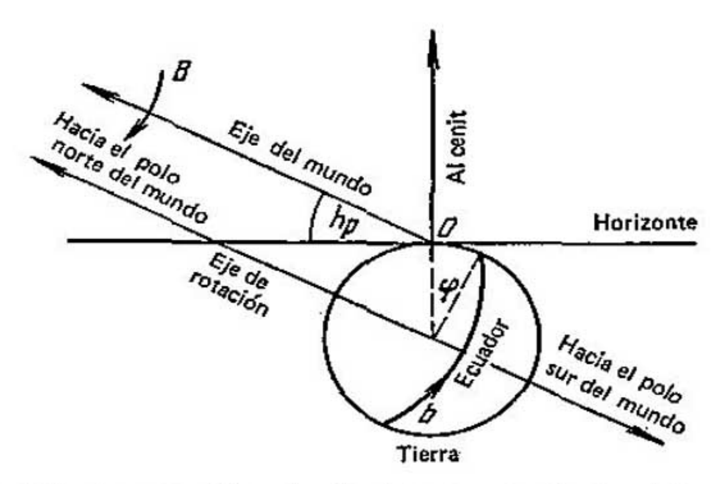


Fig. 8. Eje de rotación de la Tierra y el eje del mundo. O, observador: φ, latitud geográfica del observador: h_p, altura del polo del mundo en dicha latitud geográfica ($h_p = \varphi$): b, dirección de la rotación de la Tierra: B, dirección de la rotación diurna de la bóveda celeste

a causa de las dimensiones insignificantes de ésta en comparación con la distancia hasta las estrellas pensamos que la bóveda gira en torno al diámetro de la esfera celeste, paralelo al eje de rotación de la Tierra y denominado eje del mundo (figs. 8 y 10). Esto se hace comprensible si volvemos al modelo examinado anteriormente: las direcciones desde los diferentes puntos de la mostacilla hacia el centro, incluso de la más próxima bola de croquet, son prácticamente paralelas entre sí. Por eso tenemos razón al considerar que un mismo punto de la esfera celeste (por ejemplo, una misma estrella) se ve desde los distintos puntos de la superficie terrestre en los sentidos paralelos, y al identificar el eje del mundo con el de rotación de la Tierra, y el centro de la esfera celeste incluso, a menudo, con el de la Tierra.

Por cuanto el propio eje terrestre no gira, los dos puntos de intersección del eje del mundo con la bóveda celeste tampoco participan en su rotación diurna, por lo cual se llaman polos del mundo. En la época actual, el eje terrestre está orientado por pura casualidad hacia la estrella α de la Osa Menor, y precisamente por esta razón el polo norte del mundo está situado en el cielo aproximadamente a 1° de distancia de dicho astro, que

se llama Estrella Polar. El polo sur del mundo no se ve desde el hemisferio boreal de la Tierra, ya que se halla bajo el horizonte, pero se percibe desde su hemisferio austral, desde cuya superficie es imposible ver el polo norte del mundo.

De la inmovilidad de los polos del mundo es fácil cerciorarse al observar la rotación diurna del firmamento: todas las constelaciones se mueven de manera continua en sentido opuesto al giro de la aguja del reloj si se mira a la parte norte del cielo, mientras que la Estrella Polar no cambia prácticamente su posición. Pero si se mira a las partes este, sur u oeste del cielo, el movimiento alrededor de su eje se realiza en sentido horario. Aquí conviene señalar que los términos de dirección del movimiento «en sentido horario (de las agujas del reloj)» y «en sentido antihorario («contrario al de las agujas del reloj)» que se usan ahora son de origen astrónomico y sería más correcto denominar dichas direcciones «según la rotación diurna de la bóveda celeste» o «en sentido contrario», ya que el reloj de agujas fue inventado en Europa y a las agujas se les dio el movimiento en el mismo sentido de rotación diurna de la bóveda celeste. Si el reloj mecánico hubiera sido inventado en el hemisferio austral de la Tierra, seguramente sus agujas se habrían movido en sentido contrario, es decir, en dirección del movimiento del cielo en el hemisferio austral de la Tierra.

Una buena idea de la inmovilidad de los polos del mundo puede obtenerse si fotografiamos la bóveda celeste con una cámara fotográfica fija. Para ello ésta se enfoca en la Estrella Polar y el cielo se fotografía aproximadamente durante media hora. Tras el revelado de la placa o película fotográfica pueden verse en ella arcos concéntricos trazados por la acción de la luz de las estrellas. Todos esos arcos tienen un centro de curvatura común fijo: el polo norte del mundo (fig. 9).

De ninguna manera deben confundirse los polos del mundo con el cenit, que es el punto de la esfera celeste, situado verticalmente encima de la cabeza del observador y determinado matemáticamente por la intersección de la línea vertical con la esfera celeste (figs. 8 y 10). El cenit también es inmóvil respecto al observador, pero durante la rotación diurna por él pasan diversos puntos de la bóveda celeste, incluidas algunas estrellas.



Fig. 9. Fotografía de la región polar del cielo

A 90° de distancia de ambos polos del mundo los astrónomos trazan mentalmente en la esfera celeste el círculo máximo, llamado ecuador celeste, y los paralelos celestes que son paralelos a él, del mismo modo que se traza el ecuador terrestre y sus paralelos geográficos. El ecuador celeste divide la esfera celeste en dos hemisferios: boreal y austral, y siempre se interseca con el horizonte en los puntos cardinales de oriente y occidente. Pasa cerca de las estrellas γ y ζ de la Virgen, η y ϑ del Aguila, α y ζ del Acuario, un poco más arriba de la estrella o (ómicron) de la Ballena (la estrella Mira) y atraviesa prácticamente la estrella δ de Orión (la estrella superior en el cinturón de Orión).

Por los polos del mundo se trazan los círculos máximos análogos a los meridianos terrestres, pero se denominan ya de otro modo: círculos de declinación. El círculo de declinación que pasa por el punto del ecuador celeste*), en

*) Este punto se llama equinoccio de primavera y se designa con ♈.

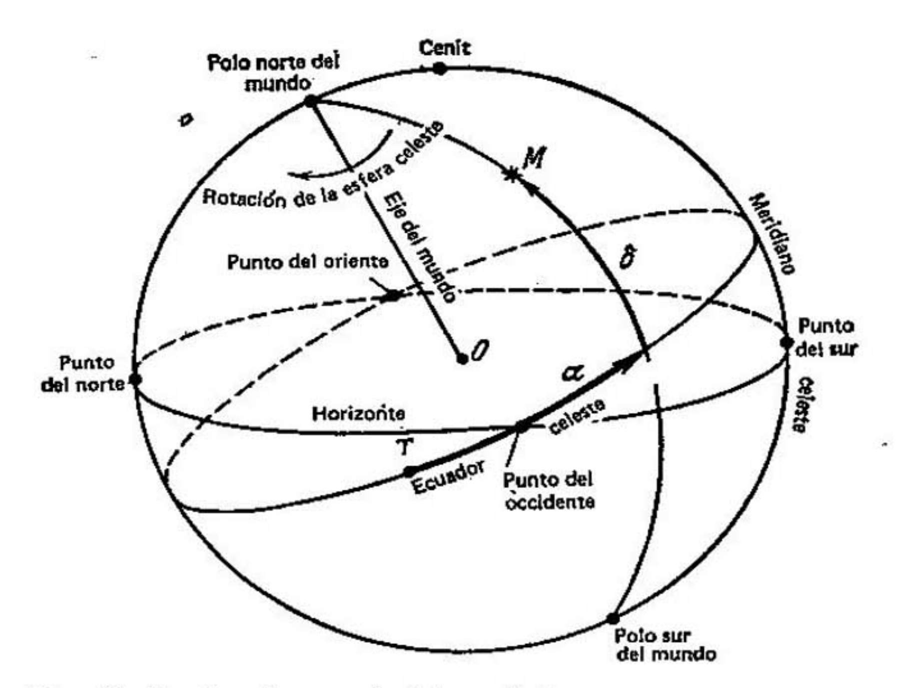


Fig. 10. Coordenadas ecuatoriales celestes.
O, observador: ♈, punto del equinoccio de primavera: α, ascensión recta y δ, declinación del astro *M*

el que el Sol cruza anualmente (cerca del 21 de marzo) el ecuador celeste, se llama inicial y sirve de punto de referencia para calcular una de las coordenadas celestes: la ascensión recta α (véase la fig. 10). Debe leerse siempre de occidente a oriente y medirse en grados de 0 a 360° y con mayor frecuencia en unidades de tiempo (horas, minutos y segundos) de 0 h a las 24 h, teniendo en cuenta que 360° = 24 h, o sea, 1 h = 15°.

Otra coordenada, llamada declinación δ, se lee desde el ecuador celeste a lo largo de los círculos de declinación y siempre se mide en grados; en el hemisferio celeste boreal ella se considera positiva, y en el austral, negativa. Es evidente que la declinación se mide en los límites de 0° (ecuador celeste) a ±90° (polos del mundo).

La cuadrícula de las coordenadas celestes ecuatoriales gira junto con la esfera celeste, razón por la cual la posición de las estrellas respecto a ella queda invariable du-

rante largo tiempo, es decir, cada estrella tiene coordenadas celestes rigurosamente determinadas, la ascensión recta y la declinación, según las cuales ella se registra en los catálogos astronómicos y se reproduce en los mapas celestes. Los límites de las constelaciones se marcan por los círculos del cuadriculado de las coordenadas ecuatoriales.

De paso señalemos que el círculo máximo de la esfera celeste que cruza el polo del mundo y el cenit no participa en la rotación diurna de dicha esfera. Este círculo se denomina meridiano celeste y se interseca con el horizonte en los puntos cardinales del sur y del norte (fig. 10).

Las coordenadas ecuatoriales de las estrellas no sólo sirven para construir mapas celestes, sino para usos mucho más amplios: para determinar las coordenadas geográficas de los lugares en la superficie terrestre, confeccionar mapas geográficos, orientarse en la tierra, mar, aire cosmos, verificar el tiempo, etc., es decir, tienen muchas aplicaciones prácticas.

No es una tarea nada fácil reproducir el cuadriculado ecuatorial en el mapa, por cuanto el cuadriculado está situado en la superficie esférica y el mapa es plano. El único método para representar el cuadriculado es proyectarlo sobre el plano del mapa, y en este caso se escogen los sistemas de proyección que permiten representar con máxima exactitud la configuración real de las constelaciones. Para ello se debe proyectar sobre el mapa no todo el cielo sino partes aisladas de él, es decir, construir varios mapas celestes y unirlos en atlas astronómicos. Hoy día el pequeño atlas astronómico del académico A.A. Mijáilov*) es el mejor para el estudio general del cielo estelar. Este atlas deben tenerlo todos los que quieran adquirir conocimientos relativamente vastos de la bóveda celeste y realizar observaciones astronómicas.

Sin embargo, para estudiar el cielo son necesarios también mapas celestes que representen, por ejemplo, todo el hemisferio celeste boreal y parte del austral adyacente a él. En este caso el polo norte del mundo se halla en el centro del mapa y alrededor de él se trazan circunferencias concéntricas que representan el ecuador celeste

---

*) *Mijáilov A.A.* Atlas astronómico: Cuatro mapas del cielo estelar hasta 50° de declinación austral. 5ª ed. Moscú—Leningrado, Naúka, 1978 (en ruso).

y sus paralelos, mientras que los círculos de declinación se representan en forma de rayos que parten del polo. Entonces, todas las constelaciones del hemisferio boreal celeste se sitúan en el mapa dentro de la circunferencia (ecuador celeste) y su configuración casi no se distingue de la real. Pero el aspecto de las constelaciones del hemisferio austral, emplazadas fuera del ecuador celeste, experimenta notables deformaciones causadas por el hecho de que los paralelos de este hemisferio se representan con circunferencias cuyas dimensiones superan la del ecuador celeste, en tanto que sus radios, en realidad, son menores que el del ecuador celeste. Esa circunstancia debe tenerse en cuenta al utilizar el mapa celeste móvil que se adjunta al presente libro.

Ahora, cuando sabemos los principios de construcción de los mapas celestes, pasemos al estudio de las constelaciones. El aspecto del cielo estelar cambia según las estaciones del año, lo cual era aprovechado por los pueblos antiguos para pronosticar su advenimiento. Dichos cambios son provocados por el movimiento de la Tierra que en el curso de un año realiza una vuelta alrededor del Sol (revolución de la Tierra). Hablando con propiedad, el año como unidad de tiempo es justamente el intervalo de tiempo en el transcurso del cual la Tierra efectúa su recorrido alrededor del Sol. Este movimiento produce la impresión de que el Sol se mueve lentamente al fondo de las estrellas, desplazándose hacia oriente aproximadamente 1° durante 24 horas, y en un año da una vuelta por el cielo (360°). Este curso aparente del Sol durante un año no se realiza por el ecuador celeste sino por el círculo máximo llamado eclíptica (del griego «eclipsis», oscurecimiento, desaparición), que se interseca en dos puntos diametralmente opuestos con el ecuador celeste bajo un ángulo de 23°26′, puesto que bajo el mismo ángulo el ecuador terrestre está inclinado respecto al plano de la órbita terrestre: el curso espacial de la Tierra en torno al Sol. Como resultado de esta inclinación, durante el año varía constantemente la declinación del Sol. Dos veces al año, en los días de los equinoccios de primavera (habitualmente el 21 de marzo) y de otoño (por lo general, el 23 de septiembre) el Sol aparentemente cruza el ecuador celeste (declinación $\delta = 0°$) y en esas fechas la duración de los días es igual a la de las noches. En el in-

tervalo comprendido entre los días de equinoccio, del 21 de marzo al 23 de septiembre, el Sol se mueve por la eclíptica en el hemisferio boreal del cielo, y del 23 de septiembre al 21 de marzo, en el austral. En el día del solsticio de verano (21 de junio) el Sol se aleja del ecuador celeste hacia el norte en 23°26′ (la declinación del Sol $\delta = +23°26'$) y en el de invierno alcanza su máxima declinación Sur (la declinación del Sol $\delta = -23°26'$). Por esas fechas son máximas las diferencias de duración de los días y las noches y dependen de la latitud geográfica de la superficie terrestre.

El Sol, al realizar su curso por la eclíptica durante un año, pasa por doce constelaciones, once de las cuales tienen nombres de seres vivos (reales o mitológicos), razón por la cual todas las doce constelaciones se llaman zodiacales (del griego «zodiacos», fiera, o «zoon», animal). Sus nombres son: Peces, Carnero, Toro, Gemelos, Cangrejo, León, Virgen, Balanza, Escorpión, Sagitario, Capricornio y Acuario (fig. 11).

Aunque el número de constelaciones zodiacales se considera igual al de meses del año, hay que tener en cuenta que entre las constelaciones del Escorpión y del Sagitario el Sol recorre un tramo considerable de la constelación del Serpentario (Ofiuco), que históricamente resultó ser excluido del analema.

En primavera el Sol recorre consecutivamente las constelaciones de los Peces, del Carnero y del Toro. En ese período estas constelaciones y sus vecinas del norte y del sur no se ven, porque se encuentran junto con el Sol debajo del horizonte. Pero las constelaciones opuestas (de la Virgen, de la Balanza y del Escorpión) pueden observarse durante toda la noche; sus vecinas, las constelaciones zodiacales de los Gemelos, del Cangrejo y del León, se perciben desde la tarde hasta la medianoche, y las del Sagitario, del Capricornio y del Acuario, en la segunda mitad de la noche.

En los meses de verano el Sol pasa por las constelaciones de los Gemelos, del Cangrejo y del León que por esta razón no se ven de noche; las de la Virgen, de la Balanza y del Escorpión aparecen en la primera mitad de la noche; las del Sagitario, del Capricornio y del Acuario son visibles toda la noche, y las de los Peces, del Carnero y del Toro, sólo antes del amanecer. En las mismas condicio-

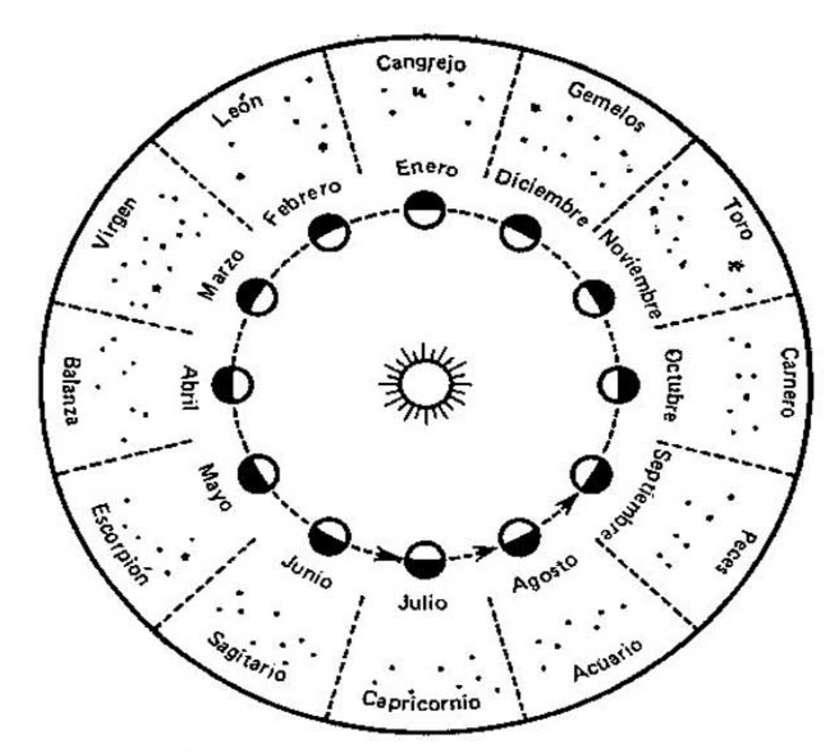


Fig. 11. Rotación de la Tierra (en dirección de las flechas) y el movimiento aparente del Sol durante un año

nes de visibilidad se hallan las constelaciones que limitan en el norte y el sur con las constelaciones zodiacales enumeradas. Además, hay que tomar en consideración que en las latitudes geográficas del Norte la visibilidad de las constelaciones empeora en gran medida a causa de la corta duración de las noches de verano.

Llega el otoño y el Sol se desplaza por las constelaciones de la Virgen, de la Balanza y del Escorpión que son inalcanzables a nuestra vista de noche, pero podemos observar las constelaciones del Sagitario, del Capricornio y del Acuario en la primera mitad de la noche; las de los Peces, del Carnero y del Toro toda la noche y en la segunda mitad de la noche salen sobre el horizonte los Gemelos, el Cangrejo y el León.

En invierno el Sol pasa por las constelaciones del Sagitario, del Capricornio y del Acuario que de noche ya

no se ven. A cambio brillan toda la noche en el cielo las constelaciones de los Gemelos y del León, y entre ellas se perciben las estrellas débiles del Cangrejo. Por cuanto en invierno las noches son muy largas, se ven toda la noche también las constelaciones del Carnero, del Toro y de la Virgen; en la primera mitad de la noche, la de los Peces, y en la segunda mitad, en la parte este del horizonte aparecen las constelaciones de la Balanza y del Escorpión. Así sucesivamente se repiten los cambios estacionales del aspecto del cielo estelar.

A propósito sea dicho, para recordar mejor las constelaciones zodiacales que se ven mejor cerca de la medianoche en los distintos meses de año (por supuesto, aproximadamente), Yu.I. Vališhin, entonces estudiante del Instituto Estatal Pedagógico V.I. Lenin de Moscú, escribió en 1961 la siguiente poesía:

Zodíaco

Mirando el analema en enero
Veremos el *Cangrejo* en el cielo,
Y observaremos al *León* en febrero,
Protegido en el frío marzo
Por la perversa *Virgen*,
Su vecina en el cielo por el lado izquierdo.
En abril se compraron la *Balanza*
Pues quisieron vivir tranquilamente,
Pero en mayo llegó *Escorpión*
Y les quitó la paz y la razón.
Por eso lo mató el *Sagitario*,
Hijo desdichado del padre junio.
Todo el julio su hermano *Capricornio*
Protegió el sueño de la *Virgen* y el *León*.
El tío *Acuario* que en agosto
Llegó para estar muchos días
A los *Peces* de septiembre
En su patio se comía,
Luego de asar al *Carnero* en octubre frío
Mató al Toro en noviembre ese Tío.
Por fin, en diciembre
Nacieron los *Gemelos*.

Si comparamos el contenido de esa poesía graciosa con la visibilidad de las constelaciones zodiacales cerca de la medianoche en los diferentes meses del año (véase la fig. 11), debemos hacer justicia a la agudeza de observación de Yu.I. Valishin.

Resulta que en el territorio de la URSS muchas constelaciones brillantes nunca se ponen, es decir, durante

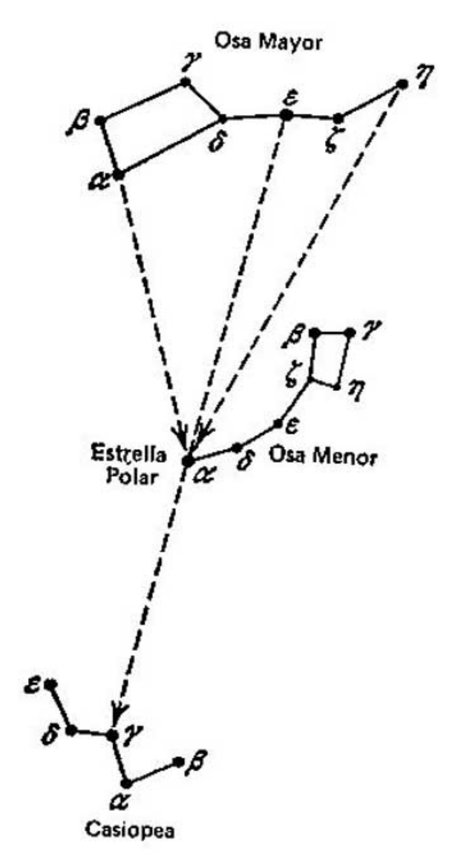


Fig. 12. Orientación por la constelación de la Osa Mayor

las 24 horas del día se hallan sobre el horizonte, pero su posición sobre el horizonte cambia periódicamente a una misma hora del día según la estación del año.

Lo más fácil es comenzar el estudio del cielo estelar por la constelación de la Osa Mayor que nunca se pone y cuya configuración conocemos todos desde la más temprana edad. En primavera, por las noches la Osa Mayor se sitúa en lo alto, cerca del cenit, encima de la cabeza del observador. El mango del cazo (la cola de la Osa Mayor) está dirigido hacia el este. Trazando mentalmente una línea por las dos estrellas extremas (β y α) de la Osa Mayor y prolongándola en sentido opuesto al cenit, encontramos la Estrella Polar ($2,1^m$). Después de unir, mediante una línea, la estrella extrema η del mango del cazo y la Estrella Polar, veremos aproximadamente en el centro (a la derecha) de esa línea, dos estrellas relativamente brillantes, pertenecientes a la constelación de la Osa Menor: la más brillante es la β (2^m); la menos brillante, la γ (3^m). Ahí mismo, entre esas estrellas y la Estrella Polar, es fácil hallar también las demás estrellas débiles de la Osa Menor, cuya configuración general también tiene forma de un cazo. Esa constelación tampoco se pone en el territorio de la URSS (fig. 12).

Si desde la primera estrella del mango del cazo de la Osa Mayor (la estrella ε) se traza una línea por la Estrella Polar, entonces abajo, cerca de la parte norte del horizonte, veremos otra constelación que nunca se pone: la

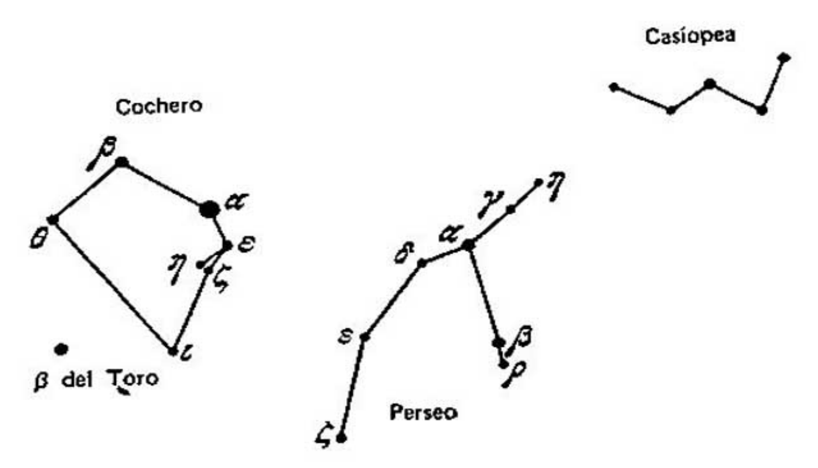


Fig. 13. Constelaciones de Casiopea, de Perseo y del Cochero

constelación de Casiopea, formada de estrellas de segunda magnitud.

A la izquierda, al este de Casiopea, se encuentra la constelación de Perseo (fig. 13), que se parece aun compás de puntas. En su pierna derecha se sitúa la conocida estrella Algol (β), la misma que en la mitología antigua se consideraba el único ojo del monstruo Medusa.

Más a la izquierda y sobre Perseo, resplandece con sus rayos de distintos colores la bella estrella amarilla de magnitud nula: la Capella (α), la más potente en la constelación del Cochero. El pentágono irregular y estirado, compuesto de cinco estrellas brillantes, describe la configuración principal de esa constelación, mientras que la potente estrella inferior de segunda magnitud, la cual hay deseos de considerarla constelación del Cochero para formar un hexágono, no pertenece a ésta: es la estrella β del Toro, la constelación que se pone en las primeras horas de la noche en primavera. Asimismo puede discernirse su principal estrella, Aldebarán, que reluce con su color rojo cerca del horizonte mismo, pero lo mejor es aplazar para el otoño el conocimiento con la constelación del Toro.

Volvamos a la constelación de la Osa Mayor y tracemos por sus estrellas α y β una línea en dirección hacia el sur. Ahí, sobre la parte sur del horizonte, veremos en lo alto la constelación del León que tiene forma de un trapecio de estrellas brillantes (fig. 14). La estrella α más

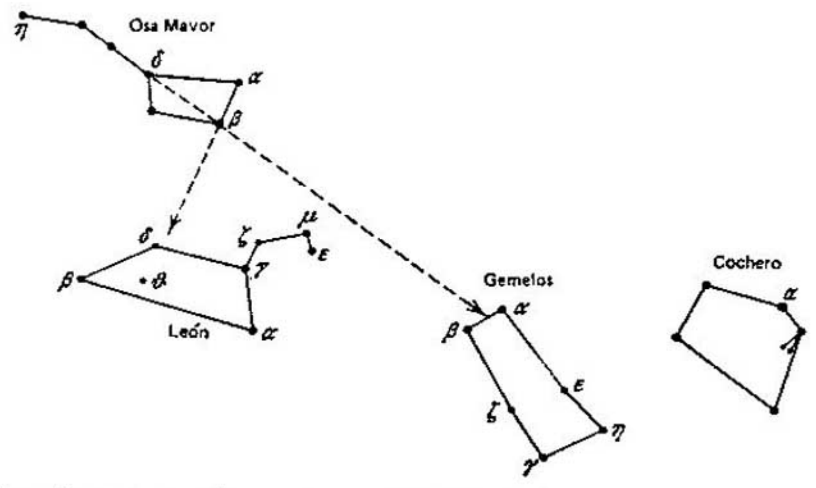


Fig. 14. Orientación por la constelación de la Osa Mayor

brillante de esa constelación se llama Régulo, del latín «regulus», rey, y el León, como se sabe, es el rey de los animales; la estrella β de segunda magnitud se llama Denébola, que traducida del árabe significa «cola del león».

Las estrellas más débiles, situadas sobre la Régulo y la γ, forman la melena del León.

Sobre la parte oeste del horizonte, entre la constelación del Cochero y la del León, se perfila claramente un rectángulo algo deformado de la constelación de los Gemelos, llamada en honor de los héroes de la mitología griega antigua: los hermanos gemelos Pólux y Cástor. Dos de las estrellas más brillantes de dicha constelación precisamente se llaman así: la menos brillante ($1{,}6^m$), Cástor (α) y la otra, más luminosa ($1{,}2^m$), Pólux (β). Bajo esa constelación se destaca bien la brillante estrella amarilla Proción ($0{,}5^m$), que es la alfa (α) de la constelación del Can Menor.

Según ya ha notado el lector, al describir el aspecto de la esfera celeste empleamos los contornos de las constelaciones que, a nuestro juicio, nunca perderán su significado, ya que ayudan a aprender rápidamente la posición de las estrellas bastante brillantes y sus nombres. Las configuraciones de los propios contornos son bastante arbitrarias y no está excluido el que con el tiempo sean sustituidas por otras más originales. Así, el norteamericano G. Rey

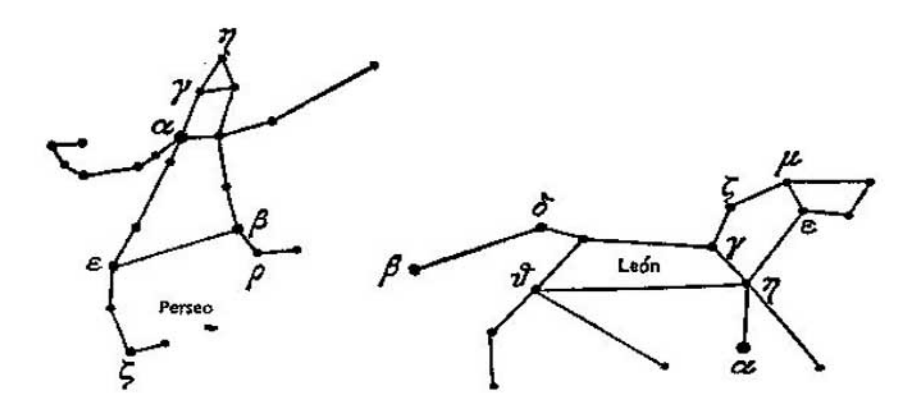


Fig. 15. Configuraciones de las constelaciones de Perseo y el León según G. Rey

en su libro «Estrellas» (Moscú, Ed. Mir, 1969) confiere a muchas constelaciones nuevas formas que, a nuestro modo de ver, reflejan mejor los nombres de las mismas. A título de ejemplos, en la fig. 15 están representados los nuevos contornos de las constelaciones de Perseo y del León, y en la fig. 16, los contornos de los Gemelos y del Cochero. Compárense estos contornos con los de las mismas constelaciones representadas en las figs. 13 y 14, para cerciorarse de que los nuevos contornos son bastante ingeniosos, pero pecan de un defecto considerable: para poder verlos es necesario incluir no sólo estrellas brillantes, sino también débiles, como, por ejemplo, en las constelaciones de Perseo y de los Gemelos, lo cual presenta con frecuencia notables dificultades para el estudio inicial de las constelaciones. El libro de G. Rey lo recomendamos a quienes se interesen por los nuevos contornos, mientras tanto continuaremos nuestra narración sobre el aspecto del cielo estelar en primavera utilizando los contornos universalmente adoptados.

Un poco a la izquierda (al este) y debajo de la constelación del León brilla solitaria la bella estrella de primera magnitud, la Espiga, que es la α de la constelación de la Virgen. Las demás estrellas de esa constelación son mucho más débiles: de tercera y cuarta magnitud estelar.

A gran altura sobre la Espiga, en la parte sudeste de la bóveda celeste, reluce con diversos colores la estrella

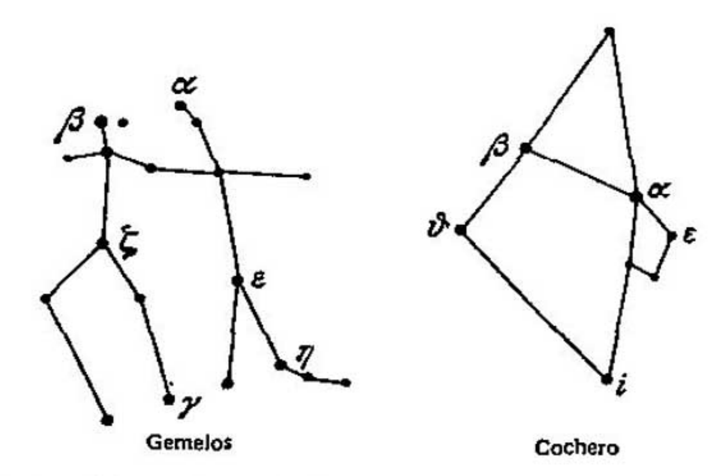


Fig. 16. Configuraciones de las constelaciones de los Gemelos y del Cochero según G. Rey

rojiza Arturo, que es la α (de magnitud estelar nula) de la constelación del Boyero. Es fácil localizarla partiendo de la Osa Mayor en dirección de las dos últimas estrellas del mango del cazo. Es asombrosa la semejanza de la constelación del Boyero a un paracaídas abierto, de cuyos tirantes parece estar suspendido un «paracaidista», que es la estrella Arturo. Junto al Boyero está la Corona Boreal: un arco formado de estrellas débiles de tercera y cuarta magnitud, entre las cuales se destaca por su color perlino la estrella de segunda magnitud, denominada Gemma (Perla): es la α de la constelación de la Corona Boreal.

Finalmente, en el noreste se ve la Vega (Halcón en árabe), la estrella luminosa de magnitud nula, que es la α de la constelación de la Lira y tiene forma de paralelogramo formado por estrellas débiles (fig. 17). Bajo la constelación de la Lira, muy cerca del horizonte está situada la del Cisne en forma de cruz. La estrella más brillante ($1{,}3^m$) de esa constelación se designa con la letra α y tiene el nombre de Deneb (cola, en árabe), en tanto que la estrella opuesta a ella ($3{,}2^m$) se llama Albireo (ojo, en árabe) y está en la cabeza de un pájaro cuyas alas están representadas por las estrellas δ y ε. Albireo es la más hermosa estrella doble (binaria), de lo que trataremos más adelante. También cabe mencionar la cons-

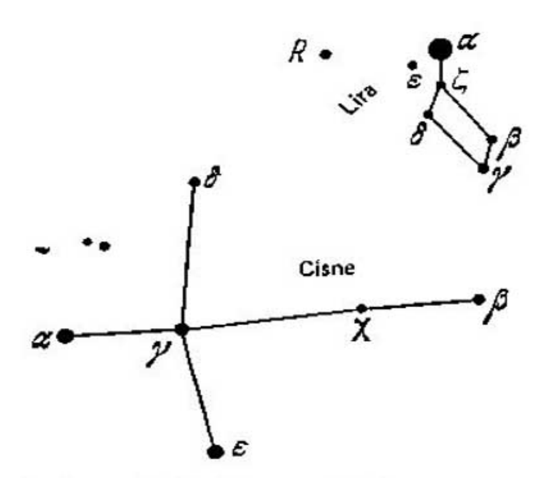


Fig. 17. Constelaciones de la Lira y del Cisne

telación de Cefeo, formada de estrellas relativamente débiles y situada entre las constelaciones de Casiopea, del Cisne y de la Osa Menor. Su figura se parece a un rombo.

Ésas son, tal vez, todas las constelaciones principales del cielo primaveral.

Llega el verano y el aspecto de la bóveda celeste cambia notablemente. Al oscurecer ya no se ven los Gemelos ni el Can Menor (se ocultaron tras el horizonte), en el noroeste va poniéndose la constelación del León, y en el oste, la de la Virgen. La Osa Mayor ha abandonado la zona del cenit desplazándose al oeste de ella, y el mango del cazo está orientado hacia el sur. En las cercanías del cenit está situado el trapecio: la cabeza de la constelación del Dragón. No lejos de la Osa Mayor, en el sudoeste, se ve bien el Boyero, y en lo alto, sobre la parte sur del horizonte brilla la Vega en la constelación de la Lira, junto a la cual está la del Cisne. Bajo ellas, al sudeste, se ve otra estrella brillante de primera magnitud que forma con Vega y Deneb un gran triángulo estirado, denominado de verano (fig. 18). Es Altaír, la estrella α de la constelación del Aguila, que al este limita con la bella constelación romboidal del Delfín, constituida por estrellas débiles.

La mayoría de las constelaciones que aparecen en el cielo de verano no están formadas de estrellas brillantes sino débiles. Son las constelaciones de Hércules y de

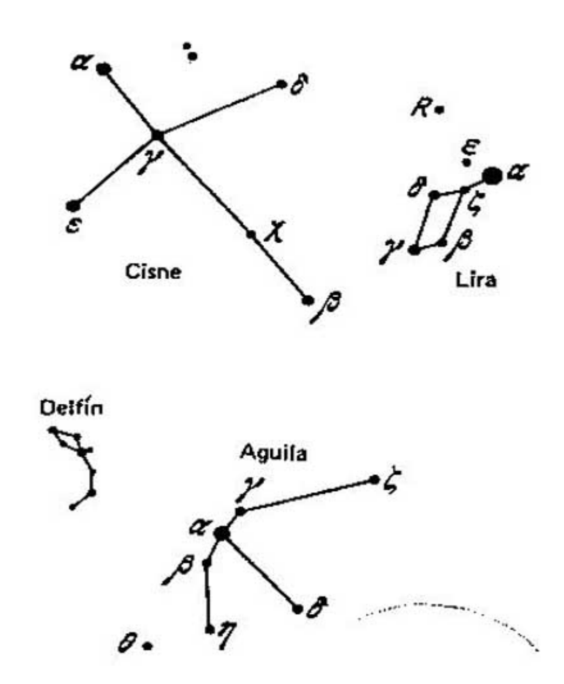


Fig. 18. Cercanías de la constelación del Águila

Ofiuco (Serpentario). La primera está situada entre la de la Lira y la de la Corona Boreal, la segunda, bajo la de Hércules.

Un poco más abajo, cerca de la parte sudoeste del horizonte, se ve la constelación del Escorpión con su estrella de color rojo vivo de primera magnitud estelar Antares (del griego, adversario de Ares, dios de la guerra en la mitología griega). A la izquierda del Escorpión, sobre el horizonte sur se destaca con nitidez la constelación del Sagitario, integrada principalmente por estrellas de segunda y tercera magnitud, semejantes por su brillo a las estrellas de la Osa Mayor. Sobre la parte sudeste del horizonte están las estrellas débiles de las constelaciones del Capricornio y del Acuario.

Pero en el este se ve bien un gran cuadrilátero de forma casi cuadrada, de estrellas de segunda magnitud. Con frecuencia lo llaman cuadrado de Pegaso. No obstante, aquí hay que ser cauteloso, pues a la constelación de Pegaso pertenecen únicamente tres estrellas de dicho cuadrado, mientras que la estrella superior, a la izquierda,

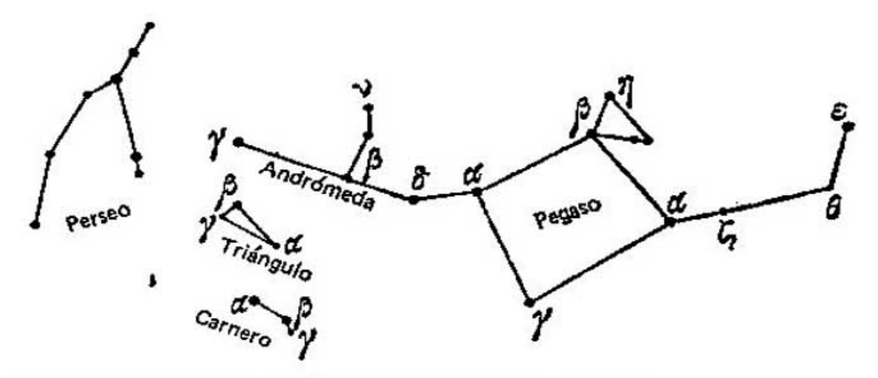


Fig. 19. Cercanías de la constelación de Pegaso

es la α de Andrómeda, constelación vecina, ubicada al oeste de nuestro conocido Perseo. Y las estrellas de la constelación de Pegaso están esparcidas muy lejos a la izquierda de las tres estrellas mencionadas del cuadrado de Pegaso (α, β y γ) (fig. 19).

Tomando como punto de referencia la estrella α de Andrómeda es fácil determinar la posición de las otras dos estrellas brillantes de esa constelación: ellas se disponen en dirección hacia la constelación de Perseo a distancias casi iguales una de otra. Sobre la estrella β de Andrómeda se halla la famosa nebulosa de Andrómeda, y bajo la estrella γ de Andrómeda, la pequeña constelación del Triángulo, y un poco más abajo, la del Carnero.

Sobre la parte norte del horizonte (en las latitudes boreales, al fondo del alba nocturna) brilla fuertemente Capella y se perciben varias estrellas de la constelación del Cochero.

Pasa desprevenido el verano, llega el otoño, pero el firmamento sigue siendo puro y transparente, proporcionando la posibilidad de estudiar las constelaciones. Muy entrada la noche, la Osa Mayor ya se ve baja sobre la parte norte del horizonte, dirigiendo su cola hacia el oeste, y la Casiopea, al contrario, se desplaza a la zona del cenit. El Pegaso se trasladó al sur; la Lira, el Cisne y el Aguila, al oeste. Orientándose por ellas es fácil establecer la posición de las constelaciones que ya nos son conocidas, excepto, claro está, de las que se han escondido tras el horizonte. Más abajo del Pegaso, bajo su cuadrado, encontramos la constelación de los Peces, estirada en

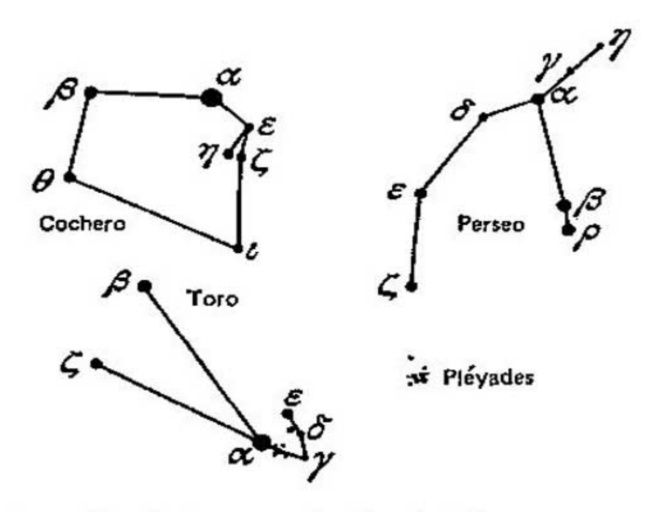


Fig. 20. Cercanías de la constelación del Toro

dirección hacia el este y formada de estrellas débiles; al sudoeste de Pegaso, centellea la constelación débil del Acuario.

En el sudeste, bajo la constelación de Andrómeda, se halla la del Triángulo, debajo de la cual están tres estrellas relativamente brillantes de la constelación del Carnero; bajo éstas se encuentran las estrellas débiles de la constelación de los Peces, y más bajo aún, en la proximidad al horizonte, vemos tres estrellas bastante luminosas de la constelación estirada de la Ballena.

Pero he aquí que en el este, bajo las constelaciones de Perseo y del Cochero aparece una constelación desconocida, que salta a la vista por dos grupos de estrellas poco brillantes: uno de ellos tiene forma de un pequeño cazo luminoso, el otro, de triángulo, en el que una estrella de primera magnitud brilla con color rojo mudable (fig. 20).

El primer grupo de estrellas es el hermoso cúmulo de Pléyades, conocido desde los tiempos de la Rusia antigua con el nombre de Stozhar, lo cual significa «multitud de luces».

El segundo grupo de estrellas débiles dispersadas en forma de triángulo, también es un cúmulo de estrellas designado con el nombre de Híades. Los dos cúmulos de estrellas pertenecen a la constelación del Toro, cuya estre-

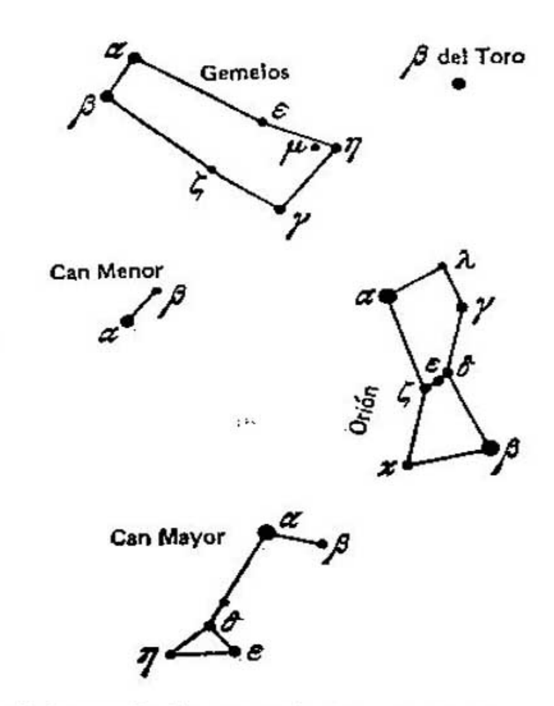


Fig. 21. Alrededores de la constelación de Orión

lla α (Aldebarán) sólo se proyecta sobre el fondo del cúmulo de Híades, pero no lo integra.

Sobre la parte noreste del horizonte vuelve a salir la constelación de los Gemelos, y en oriente van surgiendo de detrás del horizonte las estrellas luminosas de la constelación de Orión. No obstante, ésta se ve mejor en invierno.

Así pues, llega la última estación del año: el invierno. El aspecto de la bóveda celeste va cambiando otra vez. Ahora ella ostenta una gran multitud de estrellas brillantes. Muy de noche, en lo alto sobre la parte sur del horizonte centellea la constelación del Cochero, bajo el cual, un poco hacia el occidente está la del Toro, y hacia el oriente, la de los Gemelos, debajo de la cual se ve el Proción amarillo de la constelación del Can Menor. Ahí mismo, en la parte sur del cielo, bajo el Cochero resplandece por su belleza la constelación de Orión (fig. 21). La estrella superior a la izquierda (α) de esa constelación es de color rojizo y se llama Betelgeuse, en tanto que la

inferior a la derecha (β) es de color azulado y se designa con el nombre de Rigel. Las dos estrellas son mucho más brillantes que las del cinturón de Orión: su brillo es de magnitud estelar nula. En esa constelación se halla la Nebulosa Mayor de Orión.

La estrella más brillante de toda la esfera celeste está situada más abajo y más a la izquierda (al este) de Orión. Es ésta Sirio*, de color blanco, de 1,6 magnitud estelar, la estrella α de la constelación del Can Mayor. La configuración de esa constelación se parece a una tienda de campaña con el astil de bandera.

Aquí terminan nuestros primeros conocimientos con las constelaciones. Ahora surge una pregunta bien lógica: ¿No se podría determinar con rapidez el aspecto de la bóveda celeste a cualquier hora de cualquier estación del año? Resulta que es posible, pero primero hay que aprender a orientarse en el mapa celeste móvil que se adjunta al presente libro.

En ese mapa están representadas las constelaciones luminosas, accesibles para la observación desde el territorio de la Unión Soviética y el cuadriculado ecuatorial celeste. En el centro del mapa está situado el polo norte del mundo y junto a él, la Estrella Polar (la α de la Osa Menor). Las circunferencias concéntricas son de por sí paralelos celestes. La graduación numérica junto a ellos indica su declinación, es decir, la distancia angular desde el ecuador celeste que se designa con el símbolo 0°. En el interior del ecuador celeste se encuentra el hemisferio celeste boreal cuyos dos paralelos están marcados con los números +30° y +60°. Fuera del ecuador celeste se extiende la región del hemisferio celeste austral en el que están trazados los paralelos celestes con —30° y —45° de declinación. Los radios que parten del polo norte del mundo representan los círculos de declinación, cuya graduación en horas (h) está inscrita cerca de los puntos de su intersección con el paralelo celeste —30°.

Cabe prestar especial atención a la sucesión de la graduación numérica de los círculos de declinación: ella aumenta en dirección del movimiento de las agujas del reloj y no en sentido opuesto, como requiere el cálculo de la ascen-

---

*) Los antiguos romanos la llamaban Canícula, es decir, la estrella canina: del latín: canis — perro.

sión recta (véase la pág. 34). Ello se explica por el hecho de que al mirar el mapa el observador no dirige su mirada hacia la zona polar del sur de la bóveda celeste sino hacia la del norte.

Con el ecuador celeste se interseca en dos puntos el óvalo excéntrico que representa la eclíptica, es decir, el círculo máximo de la esfera que señala el curso aparente del Sol durante un año, recorriendo las constelaciones zodiacales. Uno de esos puntos, marcado con el signo ♈, se llama punto del equinoccio de primavera y sirve de punto de referencia para contar la ascensión recta en el ecuador celeste. El punto diametralmente opuesto es el del equinoccio de otoño. El punto del solsticio de verano se encuentra en el hemisferio boreal celeste en la intersección de la eclíptica con el círculo de declinación de 6 horas, en tanto que el punto del solsticio de invierno, en el hemisferio austral celeste donde la eclíptica cruza el círculo de declinación de 18 h. La dirección del curso aparente del Sol durante un año debe señalarse en la eclíptica en sentido del aumento de la ascensión recta.

El mapa está bordeado por un limbo de fechas graduado en meses y sus días de calendario. Al mapa se le adjunta un círculo de aplicación, que lleva en el borde un limbo horario con las 24 horas del día. El intervalo de una hora está dividido en seis partes de diez minutos cada una, lo que permite valorar los instantes de tiempo con una precisión de hasta 5 minutos. En el círculo de aplicación están trazados varios óvalos que llevan puestos los números de grados que designan la latitud geográfica de la zona de observación de la bóveda celeste.

El mapa y el círculo se pegan a un papel fuerte o a un cartón fino y en el círculo se recorta un agujero según el óvalo que está marcado con el número de grados más próximo a la latitud geográfica de la ciudad o del pueblo donde será utilizado el mapa. Entre los puntos en el círculo, que están designados con las palabras «punto del sur» y «punto del norte», se debe tender un hilo que representará el meridiano celeste. El círculo debe aplicarse sobre el mapa de modo que su limbo con cifras siempre tome posición concéntrica respecto a las fechas del mapa, y el hilo tirante cruce el centro del mapa que representa el polo norte del mundo. Si aplicando el círculo al mapa y girándolo se hace coincidir la hora prefijada con la fecha

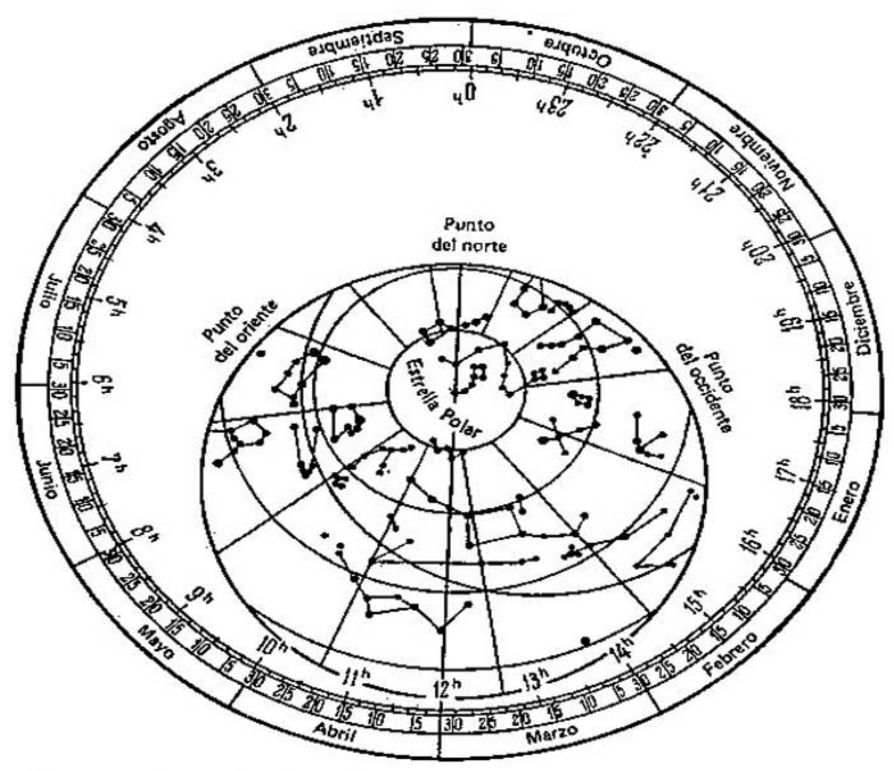


Fig. 22. Mapa celeste móvil

deseada, en el orificio del círculo quedarán encuadradas las constelaciones que en ese momento se hallan sobre el horizonte, es decir, son accesibles a la observación (fig. 22). Las constelaciones cubiertas por el círculo no se ven porque están tras el horizonte representado en el círculo por el borde del recorte.

La región del cenit no está, ni mucho menos, en el centro del mapa, sino aproximadamente en el centro del recorte. Hablando más exactamente, el cenit está situado cerca del centro del recorte, en el punto de intersección del hilo que representa el meridiano celeste, con el paralelo celeste, cuya declinación es igual a la latitud geográfica del lugar de observación. Si desde el cenit se trazan líneas dirigidas hacia los puntos principales del horizonte, designados con las palabras «punto del sur», «pun-

to del occidente», «punto del norte» y «punto del oriente», se puede señalar la posición de las constelaciones en la bóveda celeste en un momento dado de tiempo.

El mapa permite hallar respuestas a las preguntas acerca de los momentos aproximados de la salida, la puesta y la culminación superior (es decir, la posición más alta sobre el horizonte) de las estrellas en los diferentes días del año.

Para ello es necesario girar el círculo superpuesto sobre el mapa hasta que la estrella que nos interesa aparezca en la parte oriental (salida) u occidental (puesta) del horizonte, o en el hilo (que representa el meridiano celeste) entre el polo norte del mundo y el punto sur (culminación superior). Al colocar así el mapa, la división del limbo horario, establecida cerca de la fecha prefijada, indicará el momento de tiempo del fenómeno que nos interesa (y, por el contrario, puede determinar la fecha para un momento dado de tiempo de las 24 horas del día).

Cabe tener en cuenta que la salida de los astros no tiene lugar obligatoriamente cerca del punto del oriente sino, según su declinación, en cualquier punto de la mitad oriental del horizonte comprendida entre los puntos del sur y del norte: cuanto mayor es la declinación positiva del astro tanto más cerca del punto del norte sale, y en caso de una declinación negativa, el punto de salida de las estrellas se desplaza hacia el punto del sur. Un cuadro análogo tiene lugar también durante la puesta de los astros que, según su declinación, se ponen en diversos puntos de la mitad occidental del horizonte comprendida entre los puntos del sur y del norte. Y sólo los astros situados cerca del ecuador celeste salen y se ponen respectivamente cerca de los puntos del oriente y del occidente.

Para que sea evidente recordemos la salida y la puesta del Sol en los diversos meses del año. En marzo y septiembre, en vísperas de los días de solsticio, cuando el Sol se halla no lejos del ecuador celeste (es decir, su declinación es próxima a 0°), él sale y se pone cerca de los puntos del oriente y del occidente. En verano el Sol se encuentra en el hemisferio boreal muy lejos del ecuador celeste (su declinación es positiva) y por eso sale en el nordeste y se pone en el noroeste. En invierno el Sol aparece en el sudeste y desaparece en el sudoeste, ya que en

esa estación del año se halla en el hemisferio austral del cielo, muy lejos del ecuador celeste, y su declinación es negativa.

Por esta razón, al determinar, con ayuda del mapa celeste móvil, los momentos de salida y de puesta de los astros, no se debe tratar de ninguna manera de ajustar forzosamente la posición del cuerpo luminoso que nos interesa a los puntos del este y del oeste. Por el contrario, mediante la correcta superposición del círculo de aplicación del mapa (véase la pág. 51) puede determinarse la posición en el horizonte de los puntos de salida y de puesta del astro.

La posición más baja de las estrellas sobre el horizonte se llama culminación inferior, durante la cual la estrella recorre el meridiano celeste entre el polo norte del mundo y el punto del norte o bajo éste. La culminación inferior de las estrellas comienza después de la superior al cabo de 12 horas, más exactamente, al transcurrir 11 h 58 min, en virtud de lo cual, partiendo del momento de la culminación superior de cualquier estrella, es fácil establecer el momento de su culminación inferior.

A medida que se van adquiriendo hábitos en el manejo del mapa se pueden resolver problemas basados en las condiciones de visibilidad, salida y puesta de los planetas, la Luna y el Sol, para lo cual es necesario registrar las posiciones de dichos astros en el mapa.

Con el objeto de determinar la posición del Sol en la eclíptica en cierto día del año, es suficiente aplicar una regla al polo norte del mundo y a la raya que indica ese día en el limbo de fechas del mapa. El punto de intersección de la regla con la eclíptica señalará la posición del Sol, ya que ella depende de los días del año, y si hablamos con más exactitud, por el contrario, las fechas de calendario dependen de la posición del Sol en la eclíptica.

Las posiciones de la Luna y los planetas se señalan en el mapa según sus coordenadas ecuatoriales en el día dado del año, las cuales se toman de los calendarios astronómicos. Por otra parte es suficiente utilizar sólo una coordenada, o sea la ascensión recta α, ya que la Luna y los planetas también recorren las constelaciones zodiacales cerca de la eclíptica. Por esta razón, dada la baja precisión del mapa, puede despreciarse la declina-

ción de dichos astros, considerándolos situados en la eclíptica. Pero en este caso el limbo de fechas no sirve ya como para determinar la posición del Sol, por cuanto el movimiento de la Luna y los planetas no está relacionado con los días civiles del año. Por lo tanto, en lugar del limbo de fechas hay que usar el cuadriculado del mapa y buscar en la eclíptica los puntos cuya ascensión recta es igual a la de dichos astros en el día fijado del año.

Estableciendo, con ayuda del mapa móvil, los momentos de la salida, la puesta y las culminaciones de los puntos hallados de la eclíptica, al mismo tiempo resolvemos el mismo problema para el Sol, la Luna y los planetas.

3. Principios de orientación por las estrellas

Ahora, cuando ya conocemos el tema de las coordenadas ecuatoriales de las estrellas, podemos abordar algunos principios de su aplicación en la vida práctica que, al parecer, no tiene nada que ver con los cuerpos celestes. En realidad no es así, y para llegar a comprender la ligazón que existe entre las preocupaciones terrestres y las estrellas, es necesario conocer otro tipo de coordenadas celestes, llamadas horizontales. Ya tenemos cierta idea acerca de los conceptos de cenit, de los principales puntos del horizonte (puntos del sur, del occidente, del norte y del oriente) y del meridiano celeste (véanse las págs. 32—35), y ahora es suficiente trazar por el cenit los círculos verticales máximos, perpendiculares al horizonte, y paralelamente a éste, los círculos menores para obtener el cuadriculado de coordenadas horizontales (fig. 23).

La posición visible del astro M viene determinada por dos coordenadas horizontales: la altura h, que es la distancia angular desde el horizonte, contada a lo largo de la vertical del astro, y el acimut A, que es el arco del horizonte, contado desde el punto del sur hasta la vertical del astro. Las dos coordenadas se miden en grados, minutos y segundos del arco. La altura de los astros situados sobre el horizonte es positiva ($h > 0°$) y puede tener valores de $h = 0°$ (el astro se encuentra en el horizonte) a $h = +90°$ (el astro está en el cenit). Los astros situados tras el horizonte (invisibles) tienen la

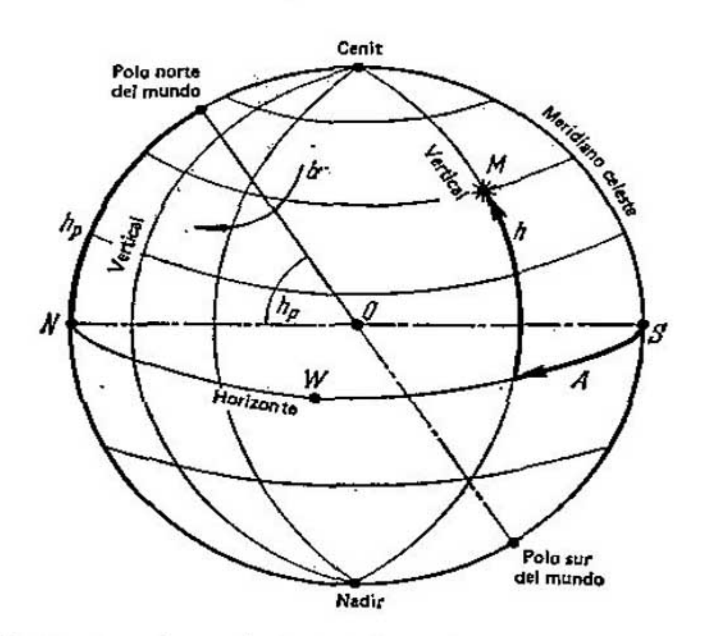


Fig. 23. Coordenadas celestes horizontales:
h, altura y A, acimut del astro M: O, observador. La altura del polo del mundo $h_p = \varphi$; S, punto del sur; W, punto del oeste; N, punto del norte; b, dirección de la rotación diurna de la esfera celeste.

altura negativa ($h < 0°$), que puede alcanzar a $h = -90°$ cuando el astro pasa por el nadir, es decir, por el punto celeste diametralmente opuesto al cenit. El acimut se calcula desde el punto del sur en dirección del movimiento diurno del cielo en sentido de las agujas del reloj, dentro de los límites de 0° a 360°, de modo que el acimut del punto del occidente equivale a 90°; el del punto del norte, a 180°, y el del punto del oriente, a 270°.

El cuadriculado de las coordenadas horizontales está rigurosamente relacionado con el lugar de observación y no participa en la rotación diurna de la esfera celeste. Debido a ello durante las 25 horas del día las coordenadas horizontales de los astros varían de manera continua, y luego de calcularlas previamente para determinado momento de tiempo se puede decir en seguida si será visible el astro ($h > 0°$), a qué altura y en qué dirección aparecerá o, al contrario, si quedará bajo el horizonte ($h < 0°$).

El polo norte del mundo, yace en el meridiano celeste

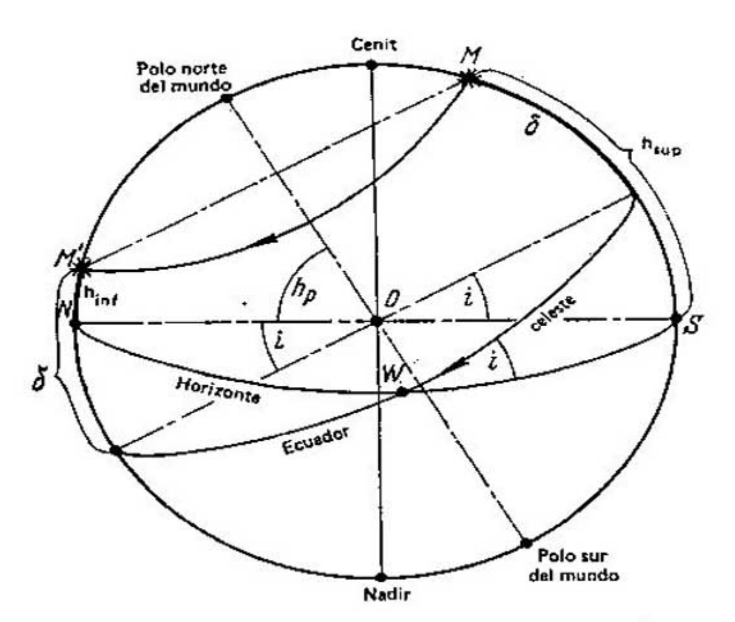


Fig. 24. Culminación superior (M) e inferior (M') del astro; h_{sup}, altura del astro en la culminación superior; h_{inf}, altura del astro en la culminación inferior; δ, inclinación del astro; inclinación del ecuador celeste respecto al horizonte $i = 90° - \varphi$; O, observador; S, punto del sur; W, punto del occidente; N, punto del norte

y su acimut $A = 180°$, pero no es igual su altura sobre el horizonte en diversos puntos de la superficie terrestre. Hallemos la altura del polo del mundo designado con h_p (fig. 23). Para ello volvamos a la fig. 8 según la cual $h_p = \varphi$, es decir, la altura del polo del mundo siempre es igual a la latitud geográfica del lugar de observación. Este importante resultado de la forma esférica de la Tierra permite determinar de antemano el aspecto de la esfera celeste y las condiciones de visibilidad de los astros desde diferentes lugares de la superficie terrestre, la latitud geográfica de dichos lugares y la declinación de los astros. Expongamos algunos ejemplos al respecto.

Imaginémonos la estrella M (fig. 24) en la culminación superior que cruza el meridiano celeste sobre el punto del sur. Por cuanto la altura del polo del mundo $h_p = \varphi$, y el propio polo está a 90° de distancia del ecuador celeste, este último está inclinado hacia el horizonte a un ángulo $i = 90° - \varphi$, y entonces la altura de la

estrella

$$h_{sup} = (90^\circ - \varphi) + \delta, \qquad (1)$$

donde δ es la declinación de la estrella que se calcula a partir del ecuador celeste.

Cuando al cabo de 12 horas la misma estrella se encuentre en la culminación inferior y cruce el meridiano celeste sobre el punto del norte (fig. 24, el punto *M'* designa la estrella que nunca se pone), su altura

$$h_{inf} = \delta - (90^\circ - \varphi). \qquad (2)$$

Durante las largas noches de invierno se presenta la posibilidad de medir consecutivamente la altura de unas mismas estrellas en ambas culminaciones y, resolviendo conjuntamente las ecuaciones (1) y (2), hallar de manera independiente su declinación

$$\delta = \frac{h_{sup} + h_{inf}}{2}$$

y la latitud geográfica del lugar de observación

$$\varphi = 90^\circ - \frac{h_{sup} - h_{inf}}{2}.$$

Mediante estos métodos los colaboradores de los observatorios astronómicos determinan las declinaciones de muchas estrellas que no se ponen y la latitud geográfica de sus observatorios. Una vez determinada esta última puede usarse sólo la fórmula (1) para hallar las declinaciones de las estrellas, cuya culminación inferior tiene lugar bajo el horizonte.

El conocimiento del tiempo exacto permite determinar la ascensión recta de las estrellas, además, los valores de las dos coordenadas ecuatoriales α y δ se publican en listas especiales: catálogos de estrellas. Desde ese momento esos datos pueden aprovecharse en la esfera de producción de nuestra vida.

Cuando se construyen canales de agua, vías férreas y automovilísticas, se trazan mapas geográficos y topográficos, se construyen poblados y ciudades, se exploran y explotan yacimientos minerales, etc., siempre es necesario saber las coordenadas geográficas del lugar. Justamente este problema es el que resuelven las expediciones astronómico-geodésicas que disponen de aparatos

de medición ligeros portátiles, relojes exactos (cronómetros), radiorreceptores para comprobar el reloj y una lista de varias decenas de estrellas con coordenadas ecuatoriales determinadas. Midiendo la altura de una estrella en su culminación superior y sabiendo su declinación, ellas calculan por la fórmula (1) la latitud geográfica, y por el momento del paso de la estrella por el meridiano celeste y su ascensión recta, hallan la longitud geográfica del lugar. No existen aún métodos no astronómicos para determinar las coordenadas geográficas.

De este modo vemos que para determinar las coordenadas ecuatoriales de los astros y las coordenadas geográficas de los lugares de la superficie terrestre, no es obligatorio en absoluto saber las posiciones del ecuador celeste en el firmamento y del ecuador geográfico en la Tierra. La astronomía permite hacer reales los cuadriculados imaginarios y aplicarlos en la vida.

Según la declinación de los astros se puede decir en seguida si ellos no se ponen en el lugar dado o, por lo general, no se ven sobre su horizonte. Si, a pesar de todo, en la posición más baja sobre el horizonte, en la culminación inferior, el astro es visible, su altura $h > 0°$ y, de acuerdo con la fórmula (2), la declinación del astro que no se pone

$$\delta \geqslant +(90° - \varphi). \tag{3}$$

Por ejemplo, la declinación del Sol en verano no puede ser mayor de $\delta = +23°26'$, en virtud de lo cual nunca se pone a partir de la latitud geográfica $\varphi = 90° - 23°26' = 66°34'$ (círculo polar ártico) hasta el polo norte inclusive ($\varphi = 90°$). A consecuencia de la simetría de la esfera celeste, en los astros que no salen

$$\delta < -(90° - \varphi), \tag{4}$$

lo que se expresa habitualmente mediante la regla: el círculo de los astros que no salen es igual al de los astros que no se ponen (fig. 25). Por eso en invierno, dentro de los mismos límites de latitud geográfica, el Sol suele ser un astro que no se pone.

Si la declinación δ del astro es igual a la latitud geográfica φ del lugar ($\delta = \varphi$), en el momento de culminación superior, con arreglo a la fórmula (1), su altura

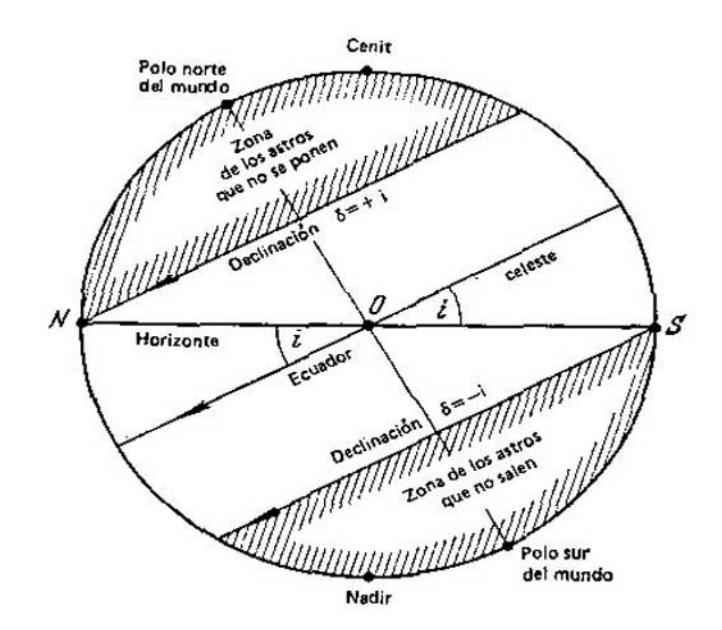


Fig. 25. Astros que no se ponen (con $\delta \geqslant +i$) y astros que no salen (con $\delta < -i$); $i = 90° - \varphi$

$h = +90°$, es decir, pasa por el cenit mismo. El Sol, por ejemplo, al mediodía de diferentes fechas del año pasa por el cenit únicamente en aquellos lugares de la Tierra, cuya latitud geográfica φ se encuentra dentro de los límites de la variación de la declinación del Sol, o sea, entre $\varphi = +23°26'$ (el trópico norte) y $\varphi = -23°26'$ (el trópico sur).

Todo lo anteriormente dicho es justo para cualquier astro celeste y el lector mismo puede comprobarlo tomando las coordenadas ecuatoriales de los astros en el Calendario Astronómico Escolar o en el Calendario Anuario Astronómico de la Sociedad Nacional Astronómico-geodésica de la URSS.

La orientación por las estrellas se utiliza también durante el lanzamiento de las estaciones interplanetarias automáticas (EIA) hacia los cuerpos celestes. Por más preciso que se realice el lanzamiento de la EIA desde la Tierra, no obstante, a causa de las enormes distancias hasta los cuerpos celestes, es imposible lograr un vuelo ideal según la trayectoria calculada: la EIA irá desvián-

dose de ella de manera inevitable. El sistema de orientación instalado en la EIA transmite al ordenador de a bordo la información sobre la magnitud del ángulo de desviación de la trayectoria real de vuelo respecto a la posición en el cielo de dos o tres estrellas brillantes previamente seleccionadas. Por orden del ordenador se ponen en marcha los motores de corrección que hacen retornar la EIA a la trayectoria calculada. Los astronautas estadounidenses, que en 1969—1972 realizaron en los vehículos interplanetarios Apolo los vuelos a la Luna, también guiaban sus astronaves por las estrellas. Por consiguiente, también en tales casos es necesario saber las posiciones exactas de las estrellas que vienen determinadas por sus coordenadas ecuatoriales.

4. Vía Láctea

Al estudiar la bóveda celeste durante las noches sin luna salta a la vista una ancha franja luminosa que pasa por algunas constelaciones: es la Vía Láctea que no se ve en las grandes ciudades a causa del fuerte alumbrado urbano.

El nombre de Vía Láctea proviene de los mitos griegos. Según uno de ellos, Zeus enojado quitó del pecho al niño amamantado por su esposa Hera, la cual derramó su leche en el cielo. Otro mito refiere que el dios mensajero Hermes puso a mamar del pecho de Hera a un niño hambriento, Hércules, hijo de Zeus y de una mujer mortal. Enojada por ello, Hera misma apartó con violencia al niño y un chorro de leche se desprendió por el cielo. En efecto, la franja blanquecina de la Vía Láctea se parece a la leche derramada o a la niebla. No obstante, basta con mirarla con prismáticos ordinarios para ver que al fondo de esa franja blanquecina se perfilan de manera clara las estrellas débiles, en tanto que con un telescopio hasta de un aumento de 30—40X, se ve que la Vía Láctea está formada de una gran multitud de estrellas muy débiles (fig. 26). A simple vista el brillo sumario de esas estrellas produce la impresión de que es una franja clara.

Así pues, la Vía Láctea consta de miles de millones de estrellas y cual una banda envuelve ambos hemisferios del cielo formando un anillo estelar con una inclinación de 63° respecto al ecuador celeste. En el hemisferio

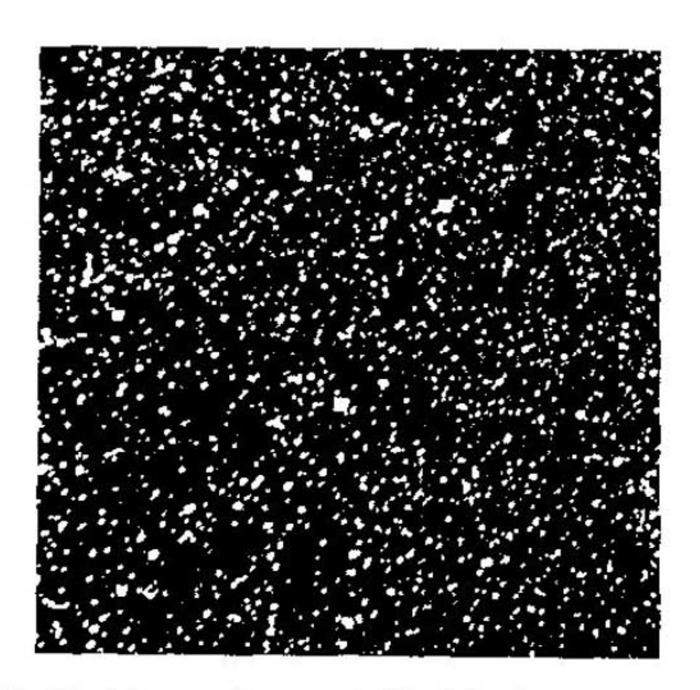


Fig. 26. Vía Láctea en la constelación del Cisne

boreal atraviesa las constelaciones brillantes de Orión, Gemelos, Toro, Cochero, Perseo, Casiopea, Cisne y Aguila; luego pasa al hemisferio austral donde recorre las constelaciones del Escudo, Serpentario (Ofiuco), Sagitario y Escorpión. En la parte del hemisferio austral inaccesible para las observaciones desde la URSS, la Vía Láctea se extiende por las constelaciones del Altar, Escuadra, Compás, Centauro, Cruz del Sur, Mosca, Quilla y Velas. La zona norte de esta última constelación se ve ya sobre la parte sur del horizonte en las regiones del sur de la Unión Soviética, desde donde la Vía Láctea recorre las constelaciones de la Popa, del Can Mayor y del Unicornio, de nuevo vuelve al hemisferio celeste boreal y se cierra en el límite de las constelaciones de Orión y de los Gemelos.

La posición de la Vía Láctea en la esfera celeste determina las condiciones de su visibilidad en las diferentes estaciones de año. En las noches primaverales, cuando las constelaciones bajan hacia el horizonte, la Vía Láctea

también se acerca al horizonte desde el noroeste hacia el nordeste, alzándose no muy alto sobre el punto del norte. En las noches de verano la Vía Láctea ya se alza a gran altura sobre el horizonte pasando de la constelación del Cochero, situada cerca del horizonte norte a la de Casiopea, situada en el punto superior de la zona oriental del cielo, y desciende hacia el horizonte meridional (hacia las constelaciones del Sagitario y del Escorpión).

En las noches otoñales la Vía Láctea se sitúa en lo más alto y se extiende de la parte nordestal, desde la constelación de los Gemelos, a través de la zona del cenit donde se halla la Casiopea, hacia el occidente, a las constelaciones del Aguila y del Escudo. Finalmente, en las noches de invierno, al igual que en verano, la Vía Láctea ocupa una posición alta, pero se extiende desde el horizonte septentrional, desde la constelación del Cisne, por la zona occidental del cielo, en la cual se encuentra la Casiopea, hacia el sur, a las constelaciones de Orión, de los Gemelos y del Can Mayor. Por consiguiente, las estaciones más propicias para observar la Vía Láctea son el verano, otoño e invierno. Estudiar la Vía Láctea las noches de primavera es difícil y no presenta interés.

¿Por qué en el cielo se forma el anillo estelar de la Vía Láctea? Examinemos más detalladamente la distribución de las estrellas en el cielo. Es fácil notar que la mayor cantidad de estrellas, tanto brillantes como débiles, se encuentra en la misma Vía Láctea o en sus cercanías. A medida del alejamiento de ambos lados de la Vía Láctea, el número de estrellas de distinto brillo disminuye considerablemente, alcanzando su valor mínimo en las regiones del cielo situadas a unos 90° de distancia de la Vía Láctea, en las constelaciones de la Cabellera de Berenice (en el hemisferio boreal del firmamento) y del Escultor (en el hemisferio austral del cielo). Esas dos constelaciones constan de una cantidad insignificante de estrellas débiles. Ello quiere decir que el conjunto de todas las estrellas que observamos integra cierto sistema estelar único que tiene tal forma y estructura espacial, que la mayoría de las estrellas están concentradas en una franja relativamente estrecha cerca de un plano. Tal sistema estelar fue llamado Galaxia (de la palabra griega «galacticos», lácteo).

Al principio es difícil incluso imaginarse ese majestuo-

so cuadro espacial. Pues la naturaleza física de las estrellas es igual que la del Sol: cada estrella es un sol independiente, es decir, un gigantesco globo de plasma caliente (mezcla de partículas eléctricamente cargadas), con temperaturas de miles y decenas de miles de grados Kelvin en la superficie y decenas y cientos de millones en sus entrañas. Basta recordar que nuestro Sol, cuyo diámetro es 109 veces mayor que el de la Tierra (y el volumen 1 304 000 veces), pertenece a las estrellas enanas típicas de color amarillo, con 6000 °K de temperatura en la superficie y cerca de 15 millones en el interior.

El aspecto puntual de esos astros enormes que percibimos desde la Tierra se explica por las colosales distancias que separan a la Tierra de ellos. Recordemos que la Tierra dista casi 150 millones de km del Sol, en tanto que la distancia hasta la estrella más próxima (α del Centauro) es 275 000 veces mayor. El rayo luminoso a 300 000 km/s de velocidad cubre la distancia entre el Sol y la Tierra en 8 min 19 s, mientras que para llegar de la α del Centauro a la Tierra la luz tarda 4,3 años, de la Vega (α de la Lira), 27 años, y de la Deneb (α del Cisne), más de 500 años. De las estrellas débiles de la Vía Láctea la luz tarda en llegar a la Tierra decenas de miles de años, pues tan lejos están de nosotros. Por esta razón, la aplastante mayoría de las estrellas de la Vía Láctea no se ven a simple vista, aunque en realidad muchas de ellas son estrellas gigantes blancas y blancas azuladas e irradian decenas de veces más luz que el Sol.

En sus investigaciones muchos científicos, incluidos los astrónomos soviéticos (los profesores P.P. Parenago, B.V. Kukarkin, B.A. Vorontsov-Veliamínov, T.A. Aguekián y otros) han establecido que la Galaxia tiene una forma general de elipsoide lenticular con alta concentración de estrellas en su plano ecuatorial. Además, las estrellas se sitúan en espirales que parten del conglomerado central (fig. 27).

La Galaxia cuenta con más de 150 mil millones de estrellas y su diámetro es tan grande que la luz lo pasa aproximadamente durante 100 000 años. Tomando (como lo hacen los astrónomos) por unidad de distancia el camino que recorre la luz en 1 año ($9{,}5 \cdot 10^{12}$ km), puede decirse que el diámetro de la Galaxia mide 100 000 años-luz.

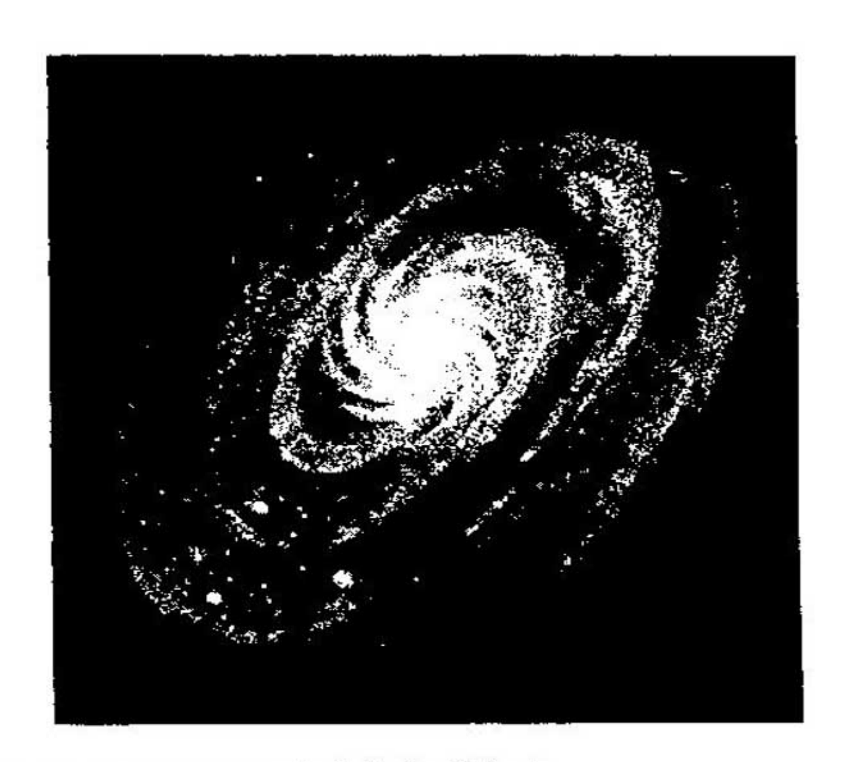


Fig. 27. Estructura espiral de la Galaxia

Tratemos de reproducir esas enormes distancias en nuestro modelo, en el que la Tierra está representada con una mostacilla de 1 mm de diámetro y dista unos 12 m de la bola de croquet (el Sol). Ateniéndose a la misma escala debemos de sacar la bola de croquet que representa la estrella Vega, fuera de los límites de la Tierra real a 20 000 km, la bola Deneb debe colocarse en la Luna, y entonces la Galaxia se extenderá a 74 millones de km, es decir, a una distancia media entre el Marte y la Tierra. Pero si construimos un modelo de la Galaxia con dimensiones de la Tierra, la órbita de ésta se representará con un círculo de 4 mm de diámetro, y la propia Tierra, con un punto invisible de 0,0004 mm, o bien, de 0,4 micrómetros, es decir, su diámetro podrá ser comparado con la longitud de onda del rayo luminoso violeta.

El Sol con sus planetas se sitúa en el interior de la Galaxia cerca de su zona ecuatorial, pero no muy cerca del conglomerado central sino a la distancia de unos

33 000 años-luz de él, es decir, aproximadamente, a una distancia de dos tercios del radio de la Galaxia. Para el observador terrestre los brazos espirales del plano ecuatorial de la Galaxia se proyectan sobre el cielo en forma de una franja clara de la Vía Láctea y por cuanto el ecuador terrestre no tiene ninguna relación con las espirales estelares, por pura casualidad el ángulo entre el plano del ecuador terrestre y el plano central de la Vía Láctea resultó ser igual a 63°, lo cual se ha señalado anteriormente.

¿Cómo los astrónomos pudieron determinar la posición no céntrica del Sol en la Galaxia? Hablando metafóricamente, casi del mismo modo como un habitante de una gran ciudad puede determinar su posición en ella sin abandonar el tejado de su casa. Si se toma la molestia de calcular el número de edificios visibles en todas las direcciones y se cerciora de la igualdad aproximada de esos números, uno tiene derecho de sacar la conclusión acerca de la configuración aproximadamente circular de la ciudad y de su posición céntrica en ella. Pero si el observador ve que en diversas direcciones es diferente el número de edificios, llegará a la convicción de que él no ocupa la posición central. Más aún, por el número de casas visibles en diferentes direcciones, puede formarse idea general de la forma que tiene la ciudad. Pero si, además, en disposición del observador hay ciertas señales de orientación que le permitan calcular las distancias (por ejemplo, los faroles de calle cuya luminosidad es conocida), él puede medir no sólo la distancia que lo separa del centro o de la periferia de la ciudad, sino también las dimensiones de esta última.

Aproximadamente en la misma condición se hallan los observadores terrestres cuando estudian las formas y dimensiones de la Galaxia. Pero el trabajo gastado en el estudio de la Galaxia es incomparablemente mayor que el de un habitante que estudia los contornos de su ciudad.

Ya hemos mencionado la elevada concentración de las estrellas cercanas a la Vía Láctea y la escasez de las mismas en las regiones alejadas de ella. Este hecho permite sacar la conclusión sobre la forma elíptica general de la Galaxia, conclusión comprobada por las mediciones de las distancias.

Examinemos ahora más atentamente distintos sectores de la Vía Láctea, comparando la cantidad de estrellas visibles en cada grado cuadrado de esos sectores. Se nos presentará un cuadro sorprendente. En la constelación de Perseo la Vía Láctea es tan pobre en estrellas (pese a que contiene un número de estrellas notablemente mayor que fuera de la Vía Láctea) que es difícil divisarla a simple vista.

En sus constelaciones vecinas (de Casiopea y del Boyero) el número de estrellas débiles que integran la Vía Láctea aumenta notablemente y ella se percibe de manera más ostensible. Al pasar a las constelaciones del Cisne y de los Gemelos el brillo de la Vía Láctea crece aún más, ya que ella contiene un número de estrellas mucho mayor que en las constelaciones anteriores.

En la constelación del Cisne la Vía Láctea se bifurca y continúa en forma de dos franjas o, como dicen los astrónomos, en forma de dos brazos, recorriendo las constelaciones del Cisne, Aguila, Escudo, Serpentario, Sagitario y Escorpión. Pero esa división no es real. De hecho a lo largo de los brazos de la Galaxia se extiende una franja relativamente estrecha de oscuras nebulosas de polvo de ingentes dimensiones, que ocultan (apantallan) de nosotros la parte central de la Vía Láctea. Si escrutamos el cielo veremos que semejantes nebulosas de polvo están dispersadas por toda la Vía Láctea en forma de manchas oscuras en su fondo claro. Esas nebulosas al debilitar (absorber) la luz de las estrellas dificultan en alto grado el estudio de las dimensiones y de la estructura de nuestro sistema estelar.

En las constelaciones del Sagitario y del Escorpión es máxima la luminosidad de la Vía Láctea; aquí hay tantas estrellas que ellas forman nubes estelares, en el centro de las cuales es imposible distinguir estrellas aisladas. Tales son, por ejemplo, la Nube Estelar Mayor (fig. 28) y la Menor en la constelación del Sagitario. Ese conglomerado increíble de estrellas se debe a que en dirección a las constelaciones del Sagitario y del Escorpión se encuentran las regiones internas de la Galaxia, incluido su conglomerado central, oculto tras una potente capa de sustancia de polvo. En la misma dirección continúan los brazos estelares de la Galaxia situados entre el conglomerado galáctico central y el Sol.



Fig. 28. Vía Láctea en la constelación del Sagitario

Por el contrario, en dirección opuesta, en la que la Vía Láctea atraviesa las constelaciones de Perseo y del Cochero, se hallan los confines más cercanos al Sol de nuestro sistema estelar, en virtud de lo cual en dicha dirección es considerablemente menor el número de estrellas en la Vía Láctea.

CAPÍTULO II

Objetos prominentes del cielo estelar

5. Estrellas binarias y múltiples

Volvamos a la constelación de la Osa Mayor por la que empezamos nuestro estudio del firmamento y echemos una mirada nueva a la estrella central del mango de su cazuela: la estrella Mizar (ζ de la Osa Mayor).

Mizar

Alcor

Fig. 29. Mizar y Alcor en el campo visual del telescopio

Casi junto a ella se encuentra una pequeña estrella débil (4^m) que debido al brillo de su vecino cercano Mizar parece mucho más débil. Esa estrellita se designa en los mapas celestes con la letra latina «g» y tiene nombre propio, Alcor. Mizar significa en árabe caballo y Alcor, jinete. La distancia entre Alcor y Mizar es de unos 12′, es decir, mucho mayor que el poder resolutivo del ojo, igual en término medio a unos 2′, por lo que las dos estrellas se ven aisladas. Ahora, miramos las mismas estrellas con un pequeño telescopio de tipo escolar que tiene un objetivo de 8 cm de diámetro. Como se sabe, el poder resolutivo del telescopio es superior al del ojo, lo cual permite ver al telescopio los cuerpos situados uno de otro a distancias angulares inferiores a 2′. En el campo visual del telescopio veremos (fig. 29) a Mizar formado de dos estrellas cercanas, distantes entre sí en 15″ y Alcor, alejado un poco de él. Así pues, a simple vista Mizar se presenta como una estrella sola $2{,}17^m$, en tanto

que en realidad la integran dos estrellas cercanas, cuyo brillo se diferencia en cuatro veces: la estrella más brillante tiene una magnitud estelar de $2{,}40^m$ y la menos brillante, $3{,}96^m$. Es natural que el brillo sumario de las dos estrellas, perceptible a simple vista, sea mayor que el de cada una de ellas por separado y se exprese mediante la magnitud estelar $2{,}17^m$, lo cual es fácil de calcular por la fórmula de Pogson (véase la pág. 24). Tomando $m_1 = 2{,}40^m$ y $m_2 = 3{,}96^m$, obtendremos

$$\log \frac{E_1}{E_2} = 0{,}4\,(m_2 - m_1) = 0{,}4\,(3{,}96 - 2{,}40) = 0{,}624$$

y en las tablas de logaritmos hallaremos $E_1 = 4{,}207\ E_2$.

El brillo sumario de ambas estrellas $E = E_1 + E_2 = 5{,}207\ E_2$, entonces

$$\log \frac{E}{E_2} = \log 5{,}207 = 0{,}4\,(m_2 - m),$$

y por cuanto $\log 5{,}207 = 0{,}717$, tendremos $0{,}4\,(3{,}96^m - m) = 0{,}717$, de donde

$$m = 3{,}96^m - \frac{0{,}717}{0{,}4} = 2{,}17^m.$$

Las estrellas que en el firmamento están muy cerca una de otra, formando de este modo pares, recibieron el nombre de binarias (dobles), o más exactamente, binarias visuales, ya que al fin y al cabo su doblez se detecta mediante el ojo, aunque con la aplicación de prismáticos o telescopio. Las estrellas que integran los pares se denominan componentes de la estrella doble.

Sin embargo, la aparente cercanía en el cielo no siempre, ni mucho menos, significa la proximidad real de las estrellas en el espacio. Esto induce a aplicar una clasificación más detallada de las estrellas binarias. Imagínense dos estrellas, visibles desde la Tierra prácticamente en una misma dirección (es decir, los rayos visuales del observador dirigidos hacia dichas estrellas forman un pequeño ángulo), mientras que en el espacio están alejadas a considerable distancia entre sí. En este caso la cercanía de las estrellas es aparente y tales estrellas se llaman binarias ópticas. A título de ejemplo de tal estrella pueden mencionarse Mizar y Alcor. La primera dista 78 años-luz del Sol y de la Tierra, la segunda,

86 años-luz; por tanto, en dirección del rayo visual del observador la diferencia de sus distancias constituye 8 años-luz, es decir, es casi igual a la distancia entre la estrella Sirio (α del Can Mayor) y el Sol: 8,7 años-luz.

Otro ejemplo de estrella binaria óptica es la α de la Balanza, cuyos componentes están a 3′50″ de distancia angular recíproca, y también son visibles a simple vista. Su componente más brillante es la estrella $2{,}90^m$, de color blanco, que se designa con el símbolo α^2; el componente menos brillante, designado con el símbolo α^1, es de color amarillento y su brillo es de $5{,}33^m$, es decir, está casi en el límite de visibilidad a simple vista, pero se capta bien con prismáticos ordinarios. La estrella α^2 dista 64 años-luz y la α^1, 78 años-luz, es decir, en el espacio esas estrellas están separadas a una distancia de 14 años-luz.

Otro ejemplo aún más sorprendente es la estrella binaria α del Capricornio, cuyos componentes, de color amarillo, se ven en el cielo a una distancia de 6′20″ entre sí y son bien visibles a simple vista: el brillo de la α^1 equivale a $4{,}53^m$, y de la α^2, a $3{,}77^m$. Pero en el espacio están separados entre sí 990 años-luz; la distancia desde el Sol a la primera de ellas constituye 1090 años-luz, y hasta la segunda, unos 100 años-luz.

Es curioso que los componentes α^1 y α^2 de la estrella α del Capricornio son ellos mismos binarios visuales, lo cual se detecta con un telescopio no muy potente con diámetro del objetivo de 8 cm. La primera estrella consta de los componentes $4{,}55^m$ y $9{,}0^m$, visibles a 46″ de distancia angular entre sí, formando, además, un par óptico. La segunda estrella tiene los componentes $3{,}77^m$ y $10{,}6^m$ separados en 7″, pero no pertenece a las estrellas dobles ópticas, sino que es doble física, denominada frecuentemente sistema binario.

A las estrellas dobles físicas también pertenece nuestra conocida estrella Mizar, cuyos componentes, de color blanco, se sitúan a 15″ de distancia angular mutua. La diferencia de principio entre las estrellas dobles físicas (pares físicos) y las ópticas consiste en que los dos componentes del par físico se encuentran uno cerca de otro en el espacio, se mantienen unidos por la fuerza gravitacional mutua y giran alrededor del centro común de sus masas.

Es natural que sólo por el aspecto que tiene la estrella binaria vista al telescopio es imposible distinguir el par físico del óptico; para establecerlo es necesario realizar observaciones durante muchos años y mediciones escrupulosas de alta precisión de las posiciones visibles de los componentes de la estrella binaria, mediciones que son accesibles sólo para los especialistas astrónomos, que disponen para este fin de instrumentos especiales. No obstante, pese a las esmeradas mediciones no siempre se logra determinar la posición del centro de masas de los componentes, sino que hay que satisfacerse con las mediciones sistemáticas de la posición del componente más débil, llamado satélite, respecto al más brillante, llamado estrella principal. Reproduciendo los resultados de las mediciones en los dibujos puede sacarse la conclusión sobre el carácter de la estrella binaria. Si se detecta el movimiento de la estrella-satélite respecto a la principal, el par examinado es físico. En caso contrario, la estrella binaria pertenece a los pares ópticos.

Lamentablemente, las mediciones minuciosas son inaccesibles para los aficionados a la astronomía, y sólo les queda satisfacerse con contemplar las estrellas binarias, la mayor parte de las cuales son sistemas físicos. A propósito, ningún par físico es discernible a simple vista, sino que se presenta como una estrella solitaria, y sólo el telescopio y en ocasiones los prismáticos permiten establecer su doblez.

Pero, ¿nada más que la doblez? Basta con mirar al telescopio la estrella brillante α de los Gemelos, llamada Cástor, para cerciorarse de la existencia de las estrellas físicas triples. Dicha estrella brillante se presenta a simple vista como una sola estrella con magnitud estelar 1,58, pero al telescopio resulta ser triple, dos componentes (A con brillo $1{,}96^m$ y B con brillo $2{,}89^m$) de la cual distan unos 5″ entre sí y el tercer componente C (la estrella $9{,}5^m$) está alejado a 73″ de los primeros y gira alrededor de ellos con un período de ¡420 años!

En realidad el sistema de Cástor es mucho más complejo, lo integran cinco componentes, pero dos de ellos están tan cerca de los componentes A y B, que no se detectan con ningún telescopio y de su presencia se puede juzgar sólo por el estudio del espectro de Cástor (satélites espectrales). Se obtiene un cuadro bastante complejo

que refleja el movimiento en ese sistema: el componente A consta de dos estrellas que giran alrededor del centro de masas común con un período de 9,2 días; es análoga la estructura del componente B, en el que la rotación se realiza en 2,9 días; esas dos estrellas dobles físicas se mueven también alrededor del centro de masas común, y ya en torno a ellos gira el componente C.

A propósito sea dicho, las varias veces mencionada estrella Mizar (ζ de la Osa Mayor), que a simple vista es binaria visual, de hecho se forma de cinco componentes, tres de los cuales son espectrales y no se ven al telescopio.

Junto a la estrella brillante Vega (α de la Lira) se halla la estrella brillante ε de la Lira ($3{,}83^m$). Para una vista aguda ella se presenta un poco estirada, pero si se la mira con prismáticos resulta ser doble, formada de dos estrellas de brillo casi igual ($4{,}50^m$ y $4{,}68^m$) distantes en $3'28''$. Pero ya al telescopio de tipo escolar se ve que cada una de ellas la integran dos estrellas de brillo menor. De este modo, la ε de la Lira es una estrella visual de cuatro componentes, pero existen otras de muchos más componentes, por ejemplo, la bella estrella azulada ϑ de Orión ($4{.}12^m$). Con un telescopio pequeño ella se presenta con siete componentes: un componente $4{,}68^m$, designado con ϑ^1, consta de cuatro estrellas blancas celestes, el otro, ϑ^2 ($4{,}89^m$), de tres estrellas, una de las cuales es de color amarillo y las otras dos, de color blanco azulado. En el sistema de ϑ^2 las estrellas se sitúan en cadena, y en el sistema de ϑ^1, en forma de trapecio, por lo que ella recibió el nombre de Trapecio de Orión.

Con un aumento mayor se ve que el Trapecio de Orión contiene seis estrellas, y con telescopios muy potentes se detectan otras tres estrellas muy débiles de 16ª magnitud.

Así pues, el Trapecio de Orión lo integran nueve estrellas como mínimo y junto con la estrella ϑ^2 representa un sistema físico de doce componentes, es decir, un pequeño cúmulo estelar disperso, sobre el cual trataremos a continuación.

Llámanse estrellas múltiples tipo Trapecio los cuerpos análogos al Trapecio de Orión, formados de cuatro y más estrellas situadas a distancias aproximadamente iguales una de otra.

En un pequeño libro es imposible hacer un análisis detallado de todos los sistemas conocidos de estrellas binarias y múltiples, y por esta razón, nos limitaremos a una lista relativamente completa de los cuerpos que son de mayor interés y accesibles para las observaciones con pequeños telescopios, recomendando que el lector mismo los estudie. Tal relación se aduce en el capítulo quinto. Aquí sólo señalaremos que el mayor número de estrellas binarias y múltiples accesibles a las observaciones en pequeños telescopios se encuentran en las constelaciones de Orión, del Carnero y del Cisne. En esta última atrae la atención la bella estrella binaria β (Albireo) de dos componentes de color amarillo y azulado. Se ve muy bien con prismáticos potentes.

6. Cúmulos estelares

En el ejemplo de la estrella ϑ de Orión nos hemos convencido de la existencia de las estrellas de alta multiplicidad. No obstante, la multiplicidad de esta estrella de ningún modo es finita, ya que en la naturaleza existen sistemas estelares con una multiplicidad mucho mayor, pero ellos ya no se llaman estrellas múltiples sino cúmulos estelares. Se conocen dos clases principales de cúmulos estelares: galácticos, que en algunas ocasiones se denominan abiertos o dispersos, y globulares.

Los cúmulos galácticos constan de varias decenas o centenas de estrellas y son de forma extremadamente variada, apenas visibles al fondo de las estrellas que los rodean, de modo que a primera vista es difícil determinar de manera exacta los límites y dimensiones de los cúmulos, mientras que las regiones centrales de los cúmulos se perfilan con gran nitidez y casi cada estrella se ve por separado al telescopio o en la fotografía.

Las dimensiones de los cúmulos galácticos pueden ser diversas: de 5 a 65 años-luz, pero la mayor parte de ellos tiene un diámetro de 15—30 años-luz. Las distancias que nos separan de los cúmulos galácticos también son muy diferentes. El más cercano es el cúmulo estelar de Híades en la constelación del Toro, de forma triangular y perceptible a simple vista. Está situado junto a la estrella α (Aldebarán) de dicha constelación, que no integra el cúmulo, sino que se proyecta sobre su fondo. Aldebarán

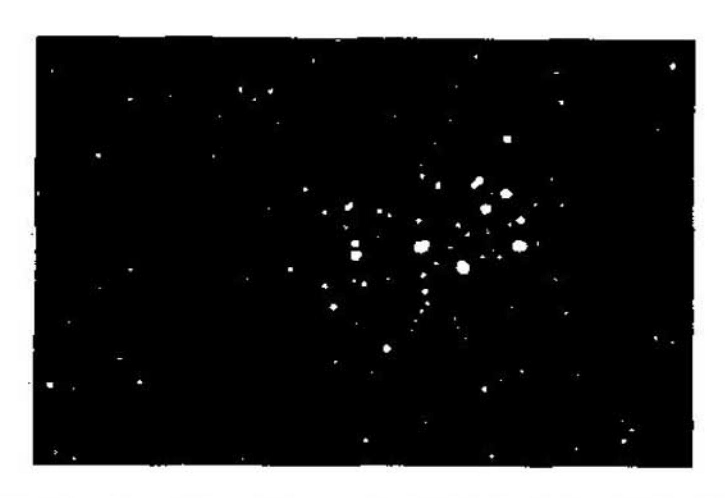


Fig. 30. Cúmulo estelar disperso (galáctico) de las Pléyades

está a una distancia de 68 años-luz de nosotros, mientras que la distancia de Híades es de 130 años-luz.

Ese cúmulo estelar contiene aproximadamente 100 estrellas y ocupa en el espacio un volumen de cerca de 45 años-luz de diámetro. Gracias a la relativa cercanía a nosotros las Híades tienen pequeño diámetro angular visible en comparación con otros cúmulos estelares galácticos. Según las observaciones mediante telescopios pequeños el diámetro visible de las Híades es próximo a 8°, en tanto que en las fotografías, en las que se obtienen incluso las estrellas más débiles de la periferia, alcanza casi 20°. El cúmulo va alejándose de manera paulatina de nosotros, lo cual fue detectado por el propio movimiento de sus estrellas.

Otro cúmulo estelar galáctico brillante, llamado Pléyades (o Stozhari) también se encuentra en la constelación del Toro. Tiene forma de un bello y pequeño casz luminoso integrado por estrellas débiles de tercera a sexta magnitud estelar y por las noches de fines de otoño y de invierno asciende muy alto sobre el horizonte (fig. 30).

A simple vista se ven en las Pléyades 7-8 estrellas y mediante potentes prismáticos, cerca de 50; con telescopio pequeño, unas 100 estrellas; los cálculos minuciosos muestran que las Pléyades contienen 150 estrellas de 3ª a 11ª magnitud estelar y cerca de 250 estrellas de hasta 17^m.

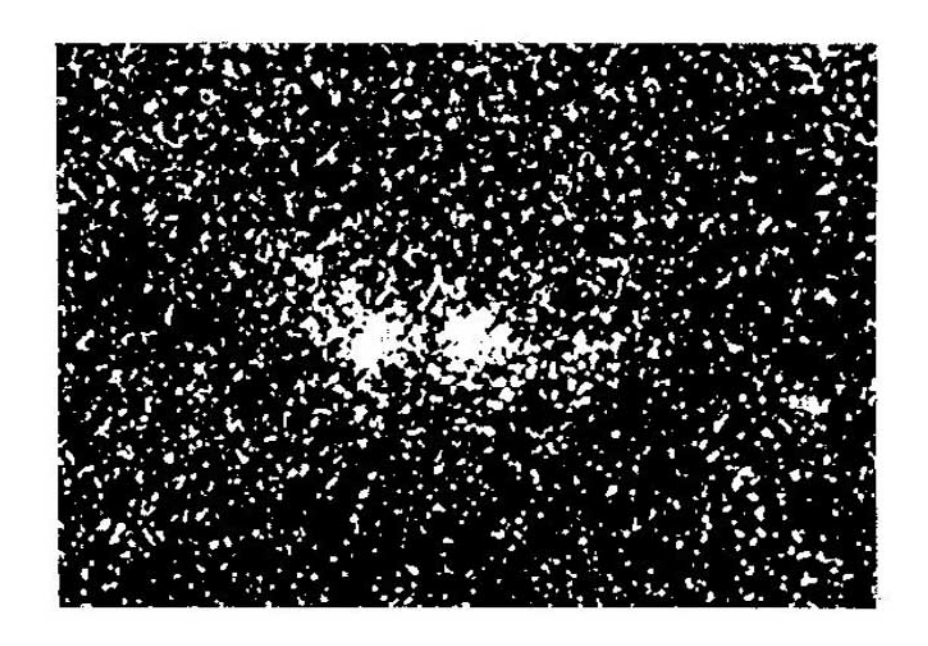


Fig. 31. Cúmulo galáctico binario h y χ de Perseo

En la bóveda celeste las Pléyades ocupan un área de 3° de diámetro, lo cual, según la distancia conocida hasta ellas de 420 años-luz, permitió calcular el diámetro lineal de todo el cúmulo que resultó ser igual a 20 años-luz.

Es muy interesante el cúmulo estelar galáctico Pesebre en la constelación del Cangrejo, que en Inglaterra se llama frecuentemente Colmena, y asimismo el cúmulo galáctico doble h y χ en la constelación de Perseo. Ambos se presentan a simple vista como manchas nebulosas. Es fácil encontrar el primero entre las estrellas γ y δ del Cangrejo, no lejos de Pólux (β de los Gemelos), aproximadamente a un tercio de distancia comprendida entre esta última y el Régulo (α del León). La segunda agrupación estelar se halla casi en el centro entre las estrellas δ de Casiopea y γ de Perseo, y mediante la observación con un telescopio e incluso con prismáticos podemos ver un cuadro de sorprendente belleza: cientos de estrellas resplandecientes están dispersadas en un pequeño sector del firmamento de 72′ de diámetro, formando dos centros de condensación bien marcados (fig. 31).

Los relativamente brillantes y notorios cúmulos estelares galácticos bien visibles con prismáticos se encuentran en las constelaciones del Cochero (5° al sur de su estrella ϑ y 6,5° de la estrella β del Toro), de los Gemelos (2,5° al noroeste de la estrella η) y del Cangrejo (2° al oeste de la estrella α), así como en las constelaciones australes del Can Mayor (5° al sur del Sirio) y del Escorpión (cerca de la estrella λ), pero se comprende que los cúmulos estelares de esas dos constelaciones se observan bien sólo en las regiones meridionales de la URSS.

En la actualidad son conocidos cerca de 1200 cúmulos estelares galácticos, además, la mayor parte de ellos está situada en la Vía Láctea en toda su extensión y en sus cercanías. Eso significa que en nuestra Galaxia los cúmulos estelares galácticos forman una franja peculiar cerca de su plano principal (galáctico).

Es notorio que ciertos cúmulos estelares galácticos son de por sí agrupaciones inestables que van desintegrándose de manera paulatina, pero esa desintegración es tan lenta que habrán de pasar decenas de millones de años antes de que, probablemente, se destruyan por completo los Pléyades, Híades, Pesebre y otros cúmulos galácticos, cuyo aspecto nos es habitual. Al mismo tiempo, las estrellas que los integran ahora seguirán existiendo como estrellas independientes o múltiples.

Otra clase de agrupaciones estelares, a diferencia de las galácticas, tiene el nombre de globulares, lo que se debe a su forma esferoidal (fig. 32).

Lamentablemente, los cúmulos globulares no se ven a simple vista por estar muy alejados y su estudio requiere emplear potentes telescopios y fotografías. Nada más que tres de ellos (en Hércules, Serpiente y Sagitario), y además en las oscuras noches sin luna, pueden captarse en forma de manchas confusas por una vista aguda.

Los cúmulos globulares contienen ya miles, decenas y cientos de miles de estrellas, con la particularidad de que en la región central de los cúmulos hay una cantidad de estrellas tan grande, que ningún telescopio potente ni fotografía son capaces de dividir las regiones centrales de los cúmulos globulares en estrellas aisladas. El número total de cúmulos globulares conocidos que integran la Galaxia es de 135, peso a que deben ser un poco más, pero es poco probable que en mucho, ya que la lumino-

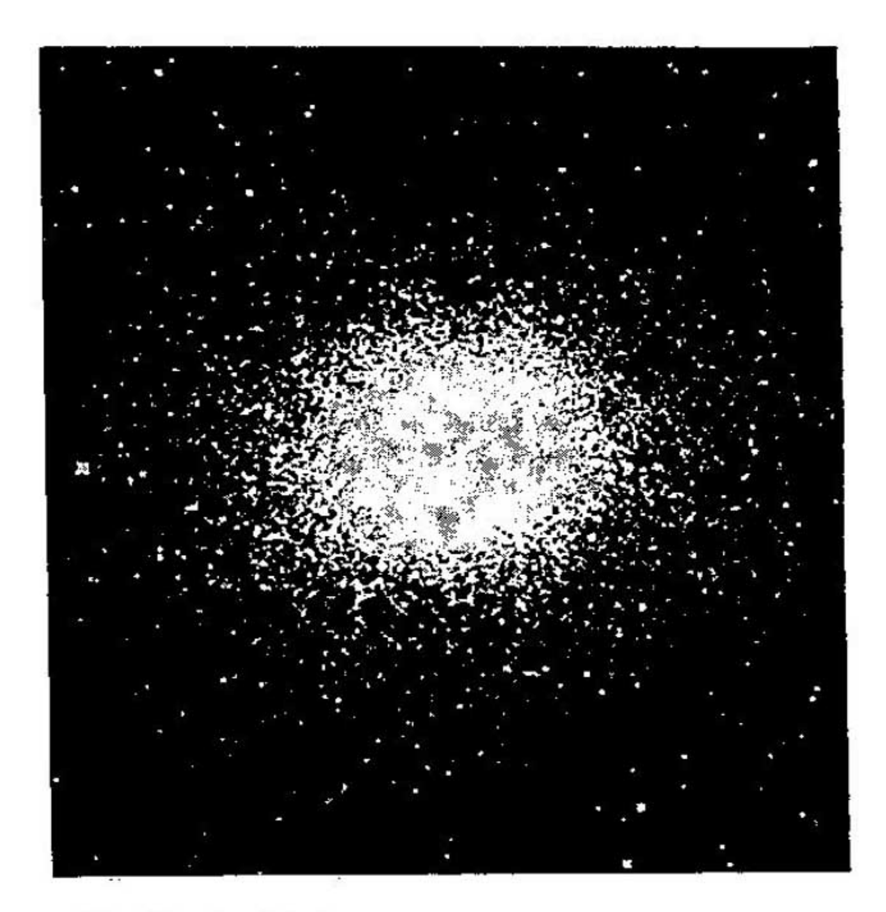


Fig. 32. Cúmulo globular

sidad total de los cúmulos globulares es enorme a causa de la ingente cantidad de estrellas y, por esta razón, vemos incluso los cúmulos globulares que están extraordinariamente alejados de nosotros.

A diferencia de los cúmulos galácticos que están dispersados a lo largo de la Vía Láctea, la mayor parte de los cúmulos globulares está agrupada en dirección hacia las constelaciones del Sagitario, del Escorpión y del Serpentario, es decir, hacia el centro de la Galaxia rodeando por todos los lados su núcleo. Todos los cúmulos globulares están muy lejos de nosotros, la distancia hasta el más cercano, visible en la constelación del Sagitario,

es de cerca de 9000 años-luz y hasta los demás, todavía mayor.

Los diámetros lineales de los cúmulos globulares son enormes y, según la cantidad de estrellas que contienen, oscilan dentro de los límites de 49 a 650 años-luz. Los cúmulos globulares son muy estables y pueden existir miles de millones de años sin cambiar notablemente sus formas y dimensiones.

Los más potentes cúmulos globulares pueden detectarse con pequeños telescopios en forma de manchas nebulosas en cuyos bordes están dispersas las estrellas débiles.

En la pág. 20 se mencionan listas de estrellas, los llamados catálogos estelares. Listas—catálogos análogos se confeccionan también para otros cuerpos celestes, incluidos los cúmulos estelares galácticos y globulares. En tales catálogos se dan las coordenadas ecuatoriales de los objetos y sus características estudiadas, por ejemplo, el diámetro angular visible, la distancia, el diámetro lineal, etc. Existen varios catálogos que registran los cúmulos estelares designados con números ordinarios propios. En el presente se usa con frecuencia la numeración según el «Catálogo de nebulosas y cúmulos estelares», publicado en 1781 por el astrónomo francés Messier; en tal caso ante el número del objeto se pone la letra M, por ejemplo, M 13. Sin embargo, son de mayor uso las designaciones según el «Nuevo catálogo general de nebulosas y cúmulos estelares» (NGC) y sus dos suplementos (IC), publicados por el astrónomo inglés Dreyer, en 1888, 1895 y 1910, respectivamente, y reeditados en 1962; entonces, ante el número del cuerpo se ponen las letras NGC o IC, por ejemplo, NGC 6664 e IC 1805.

Cabe señalar que la mayor cantidad de cúmulos estelares galácticos está situada en las constelaciones de Casiopea, Escorpión y Popa (24 en cada una de ellas), y de globulares, en las constelaciones del Serpentario (21 cúmulos) y del Sagitario (17), pero no todos ellos pueden detectarse con telescopios de baja potencia. La lista de cúmulos estelares accesibles para las observaciones con tales telescopios se ofrece en el capítulo quinto.

Lo mejor para observar los cúmulos estelares son las noches sin luna con un aumento no superior a 80 veces, y los cúmulos dispersos tales como Pléyades, Pesebre,

χ y h de Perseo con un aumento de cerca de 30 veces, a fin de que el campo visual del telescopio abarque el mayor número de estrellas.

7. Estrellas variables

En las primeras páginas de nuestro libro hemos mencionado la estrella Algol (β de Perseo), cuyo brillo variable ya conocían los astrónomos árabes en la época medieval. En Europa, el carácter variable de dicha estrella fue descubierto tan sólo en 1667 por el astrónomo italiano Montanari. Un poco antes, en 1639, el joven astrónomo Holward indicó el carácter variable de la estrella «o de la Ballena», llamada posteriormente Mira, es decir, Maravillosa (Sorprendente) por las oscilaciones extraordinariamente grandes de su brillo: de 2ª a 10ª magnitud estelar. Más tarde fue detectado el brillo variable de algunas otras estrellas, pero a partir de los años 90 del siglo pasado, gracias a las búsquedas especiales, se empezó a descubrir centenares de estrellas con brillo variable. Una cantidad extraordinaria de estrellas variables fue descubierta de 1921 a 1940 y en los años de posguerra, con la particularidad de que un gran aporte a las búsquedas y estudio de las estrellas variables hicieron los astrónomos y aficionados soviéticos, en especial, los destacados investigadores de las estrellas variables, los profesores P. P. Parenago, D. Ya. Martínov, B. V. Kukarkin, V. P. Tsesévich y muchos otros.

Hasta ahora se conocen más de 28 400 estrellas variables que recibieron sus designaciones.

Para distinguir inmediatamente las estrellas variables de las que tienen brillo permanente se adoptó designarlas en las listas de estrellas con las letras mayúsculas del alfabeto latino, empezando por la R (R, S, etc., hasta la Z) y señalando la constelación; por ejemplo, R de la Lira, R del León, T del Sagitario, etc. Si una constelación determinada la integran muchas estrellas variables y no alcanzan las letras señaladas, entonces se usa la designación con dos letras combinadas: RR, RS, ..., TT, . . ., ZZ, AA, AB, etc., hasta QZ. Por este método pueden designarse 334 estrellas. Pero resulta que algunas constelaciones (del Cisne, del Sagitario y otras) contienen tantas estrellas que tampoco alcanzan esas

combinaciones de letras. Entonces, las estrellas variables recién descubiertas comenzaron a designarse de un modo que, por lo visto, habría sido necesario emplear desde el principio mismo: con la letra V (de variable) y el número de orden de la estrella variable en la constelación, por ejemplo, V 335 del Sagitario, V 386 del Cisne, etc. No obstante, se decidió conservar los antiguos símbolos para las estrellas variables, marcadas con las letras del alfabeto griego antes de descubrir su carácter variable. Ello explica por qué las potentes estrellas variables se designan con las letras griegas (β de Perseo, β de la Lira, η del Aguila, δ de Cefeo y otras) y no con las combinaciones de las letras latinas.

La variabilidad del brillo de las estrellas puede depender únicamente de dos causas: del eclipse mutuo de las estrellas o de los procesos físicos que se producen en su interior. Según esas características las estrellas variables pueden pertenecer bien a la clase de estrellas variables eclipsantes o bien a la de estrellas variables físicas (intrínsecas). Cada clase cuenta varios tipos diferentes, que se distinguen uno de otro por la forma y estructura interna de sus componentes, y de característica externa sirve la diferencia de la forma de las curvas de luz que muestra como varía la luminosidad de las estrellas con el tiempo.

Con frecuencia las estrellas variables eclipsantes se llaman binarias eclipsantes porque cada una de ellas integra dos estrellas componentes (lo mismo que las habituales estrellas binarias físicas), pero sus componentes están tan cerca uno de otro que no pueden detectarse ni siquiera con los telescopios más potentes: sólo el carácter de la curva de luz de brillo y las investigaciones espectrales revelan su doblez.

Ambos componentes de la estrella binaria eclipsante giran alrededor del centro común de sus masas por las órbitas elípticas, cuyos planos están dirigidos hacia la Tierra formando unos ángulos muy pequeños con el rayo visual del observador. Por eso durante su rotación los componentes de la estrella binaria eclipsante se ocultan periódicamente (eclipsan) del observador de manera parcial o completa (fig. 33). Cuando no hay eclipses la luz llega al observador de ambos componentes, en tanto que durante los eclipses una parte del flujo lu-

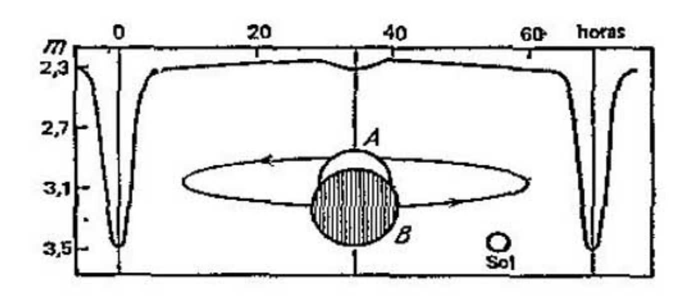


Fig. 33. Estrella variable eclipsante Algol y su curva de luz

minoso queda oscurecida por la estrella que eclipsa y como resultado la cantidad total de luz que llega al observador disminuye y éste registra la disminución del brillo de la estrella binaria eclipsante.

El aspecto de la curva de luz (de brillo) de una estrella variable eclipsante depende de la forma, luminosidad, masa y distancia mutua de sus componentes, así como del grado de excentricidad y orientación de sus órbitas respecto al observador (a la Tierra). En la fig. 33 se representa la curva de luz de la estrella eclipsante tipo Algol (β de Perseo). Los componentes de las estrellas de este tipo tienen forma globular: por sus dimensiones el satélite es mayor que la estrella principal y su brillo es menor que el de la misma. Ambos componentes pueden ser de color blanco, con una temperatura entre 9000 y 11 000 K, o la estrella principal puede ser blanca y el satélite, amarillo, con una temperatura de 5000 a 8000 K. Mientras no haya eclipse el brillo de la estrella no cambia prácticamente, pero cuando el satélite menos potente eclipsa a la estrella principal el brillo disminuye en flecha (el mínimo principal) y cuando tiene lugar el eclipse de satélite por la estrella principal la disminución del brillo total es insignificante (el mínimo secundario). Los mínimos iguales del brillo se dan dentro de intervalos de tiempo rigurosamente determinados, llamados períodos de variabilidad de la estrella. Es evidente que el período de variabilidad es igual al de rotación de los componentes.

Llámase amplitud de brillo de una estrella variable ($\Delta m = m_n - m_m$) la diferencia entre la magnitud estelar m_n de la estrella con su brillo mínimo y la magnitud estelar m_m de la estrella con el brillo máximo.

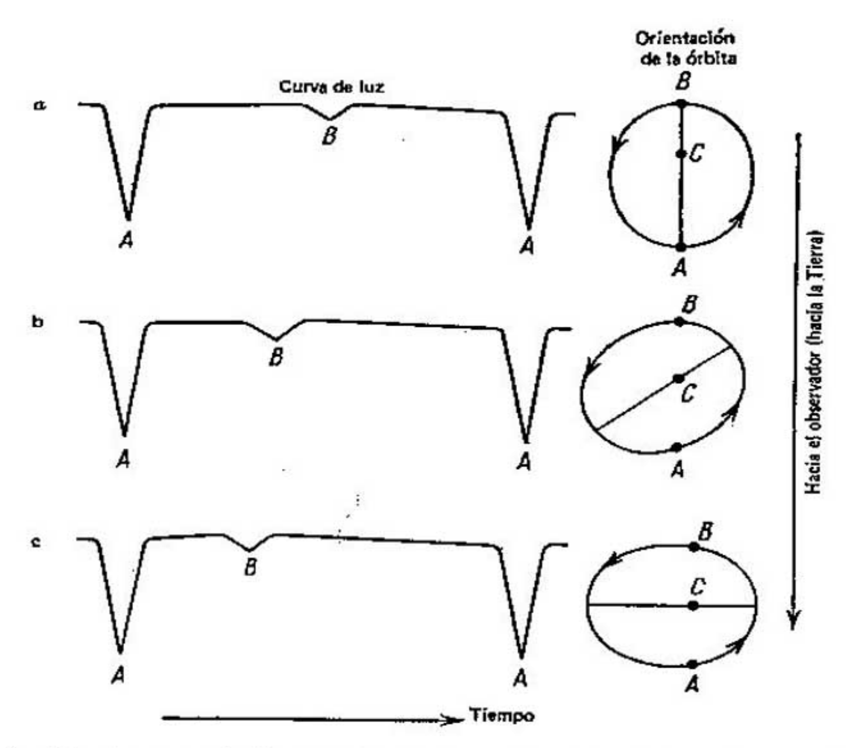


Fig. 34. Aspecto de la curva de luz en función de la orientación de la órbita de la estrella satélite

El pequeño y suave aumento del brillo de la estrella variable eclipsante antes del mínimo secundario y el análogo decrecimiento lento del brillo después de él se explica por el hecho de que, además de emitir su propia luz, la estrella satélite refleja el brillo de la estrella principal en grado tanto mayor cuanto más cerca de la estrella principal pasa el satélite. Este fenómeno recibió el nombre de efecto de reflexión, aunque sería más correcto denominarlo efecto de reirradiación, puesto que en realidad no es una simple reflexión de la luz de la estrella principal, sino su absorción por la superficie (fotosfera) del satélite con la sucesiva emisión de luz al espacio.

En la fig. 34 se muestran las posiciones de la estrella-satélite respecto a la principal (*C*), correspondientes al mínimo principal (*A*) y al mínimo secundario (*B*) del brillo de la estrella variable.

El mínimo secundario del brillo no siempre, ni mucho menos, ocupa la posición central entre los mínimos principales. Él yace exactamente en el centro entre los mínimos principales sólo cuando el eje mayor de la órbita de la estrella satélite está dirigido hacia el observador, es decir, hacia la Tierra (fig. 34, *a*). Pero si el eje mayor de la órbita del satélite se sitúa de otro modo, el mínimo secundario se desplaza hacia el mínimo principal tanto más cuanto mayor es el ángulo formado entre el eje mayor de la órbita y la dirección hacia la Tierra y cuanto más alargada sea la órbita de la estrella satélite (fig. 34, *b*, *c*). Esto se explica por el hecho de que la velocidad del movimiento de la estrella-satélite conforme a las leyes de Kepler (véanse las págs. 106—107) crece al acercarse a la estrella principal y disminuye al alejarse de la misma.

Por tanto, de ser estudiada minuciosamente la variación del brillo de las estrellas binarias eclipsantes en el transcurso de prolongados intervalos de tiempo, podemos no sólo determinar las características de las estrellas componentes sino obtener datos fidedignos sobre la rotación de sus órbitas.

A propósito, el brillo máximo de Algol es igual a $2{,}20^m$; en el mínimo principal disminuye en $1{,}27^m$: en el secundario, sólo en $0{,}6^m$; además, los dos eclipses, tanto el principal como el secundario, duran cerca de 9 horas 45 minutos.

La curva de luz de esa estrella varía con gran lentitud, pero con todo su aspecto cambia un poco a causa de que Algol consta no de dos, sino de tres (e incluso, probablemente, de cuatro) componentes. El período de rotación de dos estrellas componentes, las más cercanas entre sí y más potentes, es igual a 2,867 días, o bien, 2 días 20 horas 49 minutos y determina el período de variabilidad del brillo de Algol. La estrella principal de color blanco tiene un radio tres veces mayor que el del Sol, en tanto que su masa es el quíntuplo de la del Sol. El radio de la estrella satélite amarilla es 3,2 veces mayor que el del Sol y la masa es igual a éste. Esas dos estrellas giran en torno al centro común de masas por las órbitas casi circulares, y distan una de otra unos 11 millones de km. La velocidad de revolución relativa por las órbitas alcanza 720 km/s.

La tercera estrella (de color amarillo claro) tiene un

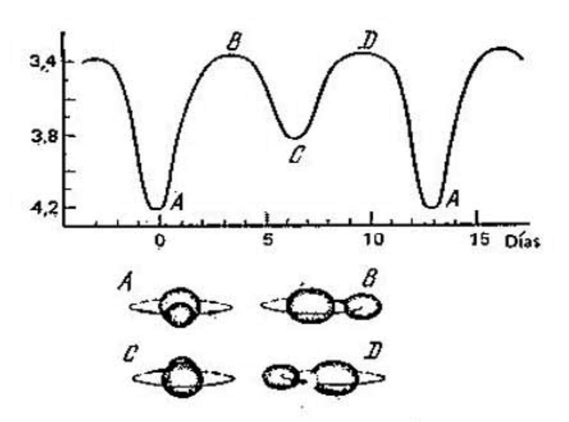


Fig. 35. Estrella variable eclipsante β de la Lira (Sheliak) y su curva de luz. Con las letras se designan las posiciones de la estrella satélite y sus respectivos tramos de la curva de luz

radio que es el 20% superior al del Sol y una masa el 30% mayor que la solar. Ella gira alrededor de las primeras dos estrellas con una distancia media de unos 440 millones de km y un período de 1,873 años, y su velocidad media se aproxima a los 50 km/s. La luz que emite esa estrella cambia un poco el carácter regular de la curva de luz de Algol, representada en la fig. 33.

Un aspecto totalmente distinto tiene la curva de luz de la estrella binaria eclipsante de color azul celeste β de la Lira y de las estrellas variables eclipsantes de estructura semejante a las del tipo β de la Lira. La curva indica la variación suave y continua del brillo de la estrella (fig. 35) que se debe a la forma elipsoidal de ambos componentes de diferentes dimensiones y luminosidad. La forma elipsoidal de las estrellas se explica por su singular proximidad, de modo que las dos estrellas pueden incluso tener una envoltura común de gas.

Durante la rotación de los componentes en torno al centro común de masas se vuelven consecutivamente hacia nosotros las distintas caras del cuerpo elipsoidal de las estrellas y, como resultado, el brillo total de la estrella variable cambia de manera continua. El mínimo principal del brillo corresponde a la posición con la cual las dos estrellas nos dirigen sus «extremos» (es decir, sus caras de menor área) y la estrella de menores dimensión y brillo pasa frente a la más luminosa.

Pero cuando los dos componentes son de igual dimensión y brillo la depresión del mínimo secundario de brillo no se distingue de la del principal. Semejante curva de luz es propia de las estrellas variables eclipsantes tipo W de la Osa Mayor.

A diferencia de las estrellas binarias eclipsantes, la variación del brillo de las estrellas variables físicas es provocada por los procesos que transcurren en su interior. Las estrellas variables físicas se dividen en una serie de tipos cuyo número alcanza aproximadamente 50. Entre ellos hay tipos de estrellas con la variación regular de su brillo, es decir, con la repetición periódica de sus valores determinados; existen estrellas con la variación aperiódica del brillo que se atribuyen a diversos tipos de estrellas variables irregulares y semirregulares; finalmente, existen varios tipos de estrellas, cuyo incremento brusco de la luminosidad (en miles y decenas de miles de veces) es motivado por los procesos explosivos que tienen lugar en su interior; tales estrellas recibieron el nombre de eruptivas.

No tenemos por objetivo el describir todos los tipos de estrellas variables físicas. Quienes se interesen por ellas pueden dirigirse a los libros de V. P. Tsesévich «Qué y cómo observar en el firmamento» (Moscú, Naúka, 1979, en ruso) y «Estrellas variables y su observación» (Moscú, Naúka, 1980, en ruso). En el presente libro mencionamos sólo algunos tipos que son accesibles y recomendables para la observación con medios modestos de los aficionados a la astronomía.

Suscitan interés las estrellas variables físicas pulsantes que cambian su brillo de manera regular y con asombrosa constancia durante muchos años. Esas estrellas pertenecen a las gigantes y supergigantes cuyas dimensiones son decenas y centenas de veces mayores que las del Sol y cuya luminosidad es cientos y miles de veces mayor. Como resultado de la perturbación del equilibrio entre la fuerza de atracción de la sustancia hacia el centro de la estrella y la fuerza de presión de los gases desde el interior, tal estrella está pulsando rítmicamente, bien expandiéndose o bien comprimiéndose en ciertos límites. Durante la contracción la superficie de la estrella disminuye un poco, en cambio se eleva su temperatura y aumenta la luminosidad, o sea la radiación total y, por

consiguiente, se incrementa su brillo. Durante la dilatación la temperatura y el brillo de la estrella disminuyen. La alternación de la compresión y la expansión de cada estrella se producen con un período estrictamente determinado, debido a lo cual al mismo ritmo oscila su brillo. Tales estrellas se denominan con frecuencia estrellas variables pulsantes regulares.

A uno de los grupos de estrellas variables pulsantes regulares pertenecen las del tipo RR de la Lira, cuyo nombre se debe al de su representante típico: la estrella variable en la constelación de la Lira, designada con el símbolo RR. Todas las estrellas de este tipo son gigantes, de color blanco amarillento, con una temperatura en la superficie de unos 8000 K y períodos de variabilidad de 5 horas a 1,2 días, pero la mayoría de las estrellas de este grupo tiene un período de variabilidad próximo a 12 horas. Las curvas de su brillo (luz) se caracterizan por las crestas agudas, en tanto que la amplitud del brillo (es decir, la magnitud de su oscilación) se halla dentro de los límites de $0{,}2^m$ a $2{,}0^m$. La mencionada estrella RR de la Lira cambia su brillo de $7{,}1^m$ en el máximo a $8{,}1^m$ en el mínimo, o sea, tiene la amplitud de $1{,}0^m$, mientras que el período de variabilidad del brillo constituye 0,567 días, o bien, $13^h\,36^{min}$ (fig. 36). En ocasiones, según una vieja costumbre, las estrellas tipo RR de la Lira se llaman cefeidas de período corto por cierta semejanza de la variación de su brillo con el brillo variable de la estrella δ de Cefeo, cuya variabilidad fue descubierta ya a finales de 1784 por el joven inglés aficionado a la astronomía, J. Goodrike (1764—1786).

La estrella δ de Cefeo es un representante típico del numeroso grupo de estrellas variables pulsantes, llamadas cefeidas clásicas. Son estrellas supergigantes amarillas cuya temperatura en la superficie es aproximadamente de 7000 a 6000 K. La amplitud de su brillo oscila entre $0{,}1^m$ y $2{,}0^m$, mientras que los períodos de variabilidad son muy diferentes: de 1 a 70 días, con la particularidad de que en la mayoría de ellas es próximo a 7 días. Durante la pulsación sus radios varían aproximadamente en un 5% hacia ambos lados del valor medio. La δ de Cefe o cambia su brillo de $3{,}5^m$ en el máximo a $4{,}4^m$ en el mínimo con un período de 5,366 días = $5^d 8^h 47^{min}$ (véase la fig. 36). Su radio medio es 40 veces mayor que el del Sol (cerca de

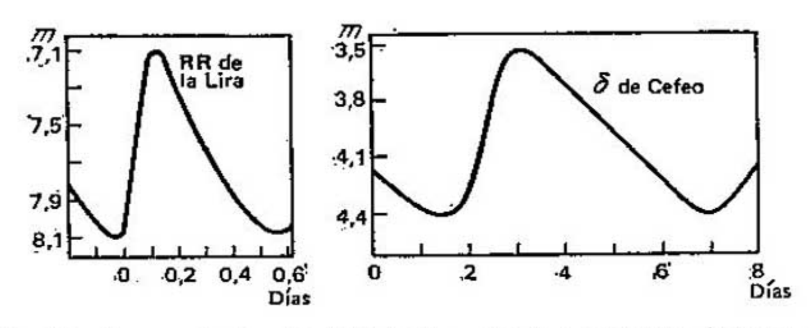


Fig. 36. Curvas de luz (brillo) de las estrellas variables físicas RR de la Lira y δ de Cefeo

700 mil km) y durante la pulsación disminuye y aumenta alternativamente en dos radios solares, es decir, en 1400 mil km.

A las estrellas pulsantes regulares pertenecen también las estrellas variables de período largo, cuyo nombre (miridas) se debe a la estrella Mira (o de la Ballena), anteriormente mencionada. De enorme volumen, que supera en decenas de millones de veces el solar, esas estrellas supergigantes rojas de baja temperatura en la superficie (cerca de 2500 K) pulsan muy lentamente, lo cual explica los períodos largos de variabilidad de su brillo, que oscilan entre 80 y 1000 días. Los distintos representantes de este tipo de estrellas variables tienen amplitudes de brillo de $2,5^m$ a 11^m. La misma Mira de la Ballena cambia su brillo de $2,0^m$ a $10,1^m$ con un período de 332 días.

Pero, tal vez, el hecho más curioso en la pulsación de las miridas consiste en que, pese a las colosales oscilaciones del brillo (¡la amplitud del brillo de 9^m corresponde a su variación en 4000 veces!), la cantidad total de energía emitida por la estrella puede aumentar o disminuir sólo en dos veces. Se produce una peculiar redistribución periódica en los diferentes sectores del espectro de la energía desprendida; de las zonas visibles a simple vista a las inaccesibles y a la inversa. Resulta que este fenómeno se debe a la presencia de una cantidad considerable de óxido de titanio en las atmósferas de esas estrellas frías supergigantes.

El desarrollo de la ciencia evidencia que las observaciones de las estrellas variables proporcionan valioso

material para estudiar muchas características físicas de las estrellas en general, para resolver los problemas de la evolución estelar, así como para precisar nuestras representaciones sobre la estructura de la Galaxia. De ahí que es muy deseable realizar observaciones sistemáticas de las estrellas variables, inclusive las investigadas ya, tanto más que los períodos de su variabilidad son susceptibles, pese a todo, a ciertas transformaciones.

No obstante, el impetuoso avance de los métodos de observación con ayuda de instrumentos, las apreciaciones visuales (o sea, a ojo) del brillo de las estrellas variables no han perdido aún su importancia científica y permiten estudiar con una precisión suficientemente alta la variación del brillo de estos cuerpos interesantes.

La esencia de las observaciones visuales consiste en comparar el brillo de una estrella variable a estudiar con el de estrellas cuya magnitud estelar es conocida e invariable. Llámanse estrellas de comparación (de referencia) las que se eligen para la comparación.

Habitualmente se usan de 4 a 6 estrellas de referencia que se seleccionan de modo que su color coincida al máximo con el de la estrella variable a estudiar y, además, que 2 ó 3 estrellas sean un poco más luminosas que la variable, y las demás un poco menos potentes que ésta.

Para evaluar el brillo de una estrella variable existen tres métodos, dos de los cuales describiremos, ya que son los más convenientes para el observador que se inicia. El primer método pertenece a E. Pickering, quien propuso comparar el brillo de la estrella variable (v) con el de dos estrellas de referencia: una un poco más potente (a) y otra un poco menos potente (b) que la variable, dividiendo mentalmente el intervalo entre el brillo de las estrellas de referencia en 10 partes, denominadas grados. Mirando alternativamente las estrellas a, v y b es necesario determinar la posición de la estrella variable por el brillo entre las estrellas de referencia. Si el observador ve que el brillo de la estrella variable v es tantas veces menor que el de la estrella de referencia a cuantas veces es mayor que el de la b, anota: $a5v5b$. Si el brillo de la estrella variable v se acerca más al de la estrella a que al de la estrella b, entonces la anotación tiene la forma de $a4v6b$ o, puede ser, $a3v7b$. Si el brillo de la estrella v apenas se distingue del de la estrella a y es mucho mayor que el

de la estrella b, debe escribirse $a1v9b$. Para lograr mayor precisión las investigaciones en la valoración de la estrella variable se realizan con dos o tres pares de estrellas de referencia.

Con el objeto de obtener la magnitud estelar del brillo de una estrella variable hay que saber las magnitudes de las estrellas de referencia que se toman de los catálogos estelares. Supongamos que la magnitud estelar de la estrella a es m_a y de la estrella b, m_b, además, $m_b > m_a$ ya que el brillo de la estrella b es menor que el de la a. Entonces, un grado constituye $0{,}1\ (m_b - m_a)$ y partiendo de las evaluaciones del brillo es fácil obtener la magnitud estelar m_v de la estrella variable. Para las apreciaciones anteriormente aducidas tenemos:

$$m_v = m_a + 0{,}5\ (m_b - m_a) \text{ y } m_v = m_b - 0{,}5\ (m_b - m_a),$$

$$m_v = m_a + 0{,}4\ (m_b - m_a) \text{ y } m_v = m_b - 0{,}6\ (m_b - m_a),$$

$$m_v = m_a + 0{,}3\ (m_b - m_a) \text{ y } m_v = m_b - 0{,}7\ (m_b - m_a),$$

$$m_v = m_a + 0{,}1\ (m_b - m_a) \text{ y } m_v = m_b - 0{,}9\ (m_b - m_a).$$

Cuando el brillo se determina con ayuda de varios pares de estrellas de referencia, se buscan los valores de m_v en cada valoración, y luego partiendo de ellos se toma la media aritmética que se redondea a centésimas de la magnitud estelar.

Otro método, propuesto por S. N. Blazhkó y Neiland, es análogo al anterior, sólo que el intervalo de brillo de las estrellas de referencia no se divide en 10 partes, sino en el número de grados que el observador es capaz de discernir en realidad. Por regla general, un novato divide dicho intervalo en 5...6 partes (grados) y evalúa el brillo en estos grados. La elaboración de datos obtenidos con este método de observación es más complicada que con el método de Pickering, pero permite conseguir resultados más precisos y no exige saber las magnitudes estelares de todas las estrellas de comparación, sino que sólo de algunas de ellas, lo que es particularmente cómodo durante la observación de las estrellas variables con brillo

débil. Sin embargo, para un observador principiante es suficiente realizar el análisis primario de las observaciones por el método anteriormente descrito, teniendo en cuenta que cada grado es resultado de la división de la diferencia de magnitudes estelares de las estrellas de referencia ($m_b - m_a$) por el número de grados adoptados entre el brillo de dichas estrellas.

Para adquirir hábitos en la observación de las estrellas variables se recomienda observar sistemáticamente las estrellas mencionadas en el capítulo quinto, además, las estrellas variables de período largo deben observarse cada 10 días, y las otras estrellas, cada noche clara realizando 4 ó 5 evaluaciones. Son particularmente interesantes las observaciones en la proximidad a los mínimos del brillo de las estrellas variables eclipsantes y a los máximos de las variables físicas. La información sobre los momentos aproximados de los mínimos y los máximos se publican en el Calendario anual Astronómico de la Sociedad de Astronomía y Geodesía de la URSS que edita la editorial «Naúka». Información análoga para las observaciones elementales de lás potentes estrellas variables pueden tomarse del Calendario Astronómico Escolar, publicación anual de la editorial Prosveschenie.

Luego de adquirir cierta práctica en la evaluación del brillo de las estrellas variables es útil acudir a los libros anteriormente mencionados de V. P. Tsesévich, en los que se ofrece la relación de estrellas variables recomendadas para la observación y se explican los métodos para analizar los datos obtenidos.

Los observadores que conocen bien la bóveda celeste y saben apreciar el brillo de las estrellas, pueden tener la suerte de descubrir nuevas estrellas, cosa que ocurrió muchas veces en la historia de la astronomía. Desde luego, no aparece una nueva estrella en el sentido literal de la palabra, sino que se enciende de repente una estrellita débil, que antes era invisible no sólo a simple vista, sino que a menudo con telescopios de potencia media. Durante la explosión espontánea el brillo de esta estrella puede aumentar tanto que se haga visible a simple vista. Esa circunstancia dio lugar para que semejantes estrellas se llaman nuevas.

Las fulguraciones de las estrellas nuevas se producen como resultado de las explosiones de sus capas (envolturas)

exteriores, provocadas por el desprendimiento de ingente cantidad de energía nuclear desde el centro de la estrella. En 2 ó 3 días (e incluso menos) la esfera estelar, ya de por sí enorme, se hincha de manera inesperada alcanzando dimensiones cientos de veces superiores a las iniciales, lo cual intensifica vertiginosamente (en decenas de miles de veces) la luminosidad y, por consiguiente, el brillo de la estrella. Justamente de estas estrellas hablamos en la pág. 00. La envoltura de gas hinchada se extiende desde el centro de la estrella en todas las direcciones a una velocidad que alcanza 1000 km/s. Transcurridos varios meses (en ciertos casos, de medio a dos o tres años), la envoltura lanzada e iluminada por la estrella se ve en el telescopio como una nebulosa de gas débilmente luminosa, que rodea a la estrella. Con el tiempo la envoltura se dispersa en el espacio y se hace invisible.

La propia estrella se tranquiliza paulatinamente, se comprime y al cabo de 1,5...2 años recupera casi por completo su estado primitivo, y su brillo, según estableció el profesor B. A. Vorontsov-Veliamínov, disminuye aproximadamente hasta el valor inicial, pero en ocasiones experimenta oscilaciones. Las investigaciones muestran que muchas estrellas nuevas resultaron ser binarias y, probablemente, esta circunstancia contribuye a su explosión.

A veces en las entrañas de algunas estrellas se producen explosiones tan potentes que hinchan y destruyen toda la estrella. En el momento de explosión la luminosidad y el brillo de tal estrella, denominada supernova, aumentan decenas y cientos de veces, de modo que ella empieza a brillar con tanta intensidad que se hace visible incluso de día.

Precisamente tal estrella supernova explotó en 1572 en la constelación de Casiopea. Ahora esa estrella es invisible y su lugar lo ocupa una nebulosa fibrosa muy débil que se detecta sólo en la fotografía. Ella es fuente de una potente radioemisión cósmica que se debe a los electrones de movimiento rápido.

Las fulguraciones de las estrellas supernovas potentes es un fenómeno muy raro. Además de la estrella supernova de 1572 en la constelación de Casiopea, se conocen las fulguraciones de otras dos supernovas: en 1054 en la constelación del Carnero y en 1604 en la del Serpentario.

En el lugar de la primera estrella ahora existe la nebulosa de gas que se extiende de manera continua y lleva el nombre de Nebulosa del Cangrejo. También es una fuente potente de radioemisión. Dentro de la nebulosa se encuentran dos estrellas muy débiles de 16ª magnitud estelar. Una de ellas, situada un poco más al norte de la otra, no tiene nada que ver con la Nebulosa del Cangrejo, sino que es una simple proyección sobre ella. Pero la otra es un residuo de la estrella supernova que explotó en 1054.

Es notorio que este cuerpo emite radioondas con impulsos muy cortos (del orden de 0,003 s) que se repiten cada 0,033 s y con el mismo período (0,033 s) su brillo varía simultáneamente dentro de los límites de 14^m a 16^m. Se producen pulsaciones peculiares y semejantes por su forma de la radioemisión y la radiación óptica, por eso los cuerpos de este tipo se llaman pulsares y fueron descubiertos por primera vez en el verano de 1967 por los astrónomos ingleses.

Se aclaró que el pulsar en la nebulosa del Cangrejo emite impulsos cortos también en la banda de rayos X, pero en 0,033 s se producen dos fulguraciones de radiación de los rayos X.

Gracias a los esfuerzos de los astrónomos de varios países, incluida la Unión Soviética, ahora se conocen cerca de 400 pulsares con períodos de pulsaciones de 0,002 a 4,75 s, con la particularidad de que en muchos de ellos fueron detectadas no sólo la radiación de rayos X, sino también la radiación gamma de ondas cortas. La mayoría de los pulsares se encuentra en el cielo en la Vía Láctea o en sus cercanías, es decir, se hallan en nuestra Galaxia y están concentrados en su plano ecuatorial.

En la actualidad la naturaleza física de los pulsares se estudia de manera intensa y hay todas las razones para considerarlos estrellas que giran a alta velocidad y están compuestas principalmente de neutrones. Ya en 1937, el académico soviético L. D. Landau (1908—1968) fundamentó teóricamente la posibilidad de la existencia de tales estrellas neutrónicas. Ellas surgen por explosión de las estrellas supernovas durante la compresión gravitacional catastrófica de sus entrañas abiertas hasta dimensiones no superiores a 40 km de diámetro (¡¡). Su densidad de hasta $10^6 t/cm^3$ se debe a la colosal presión

(del orden de cientos de billones de atmósferas) que se crea en el centro de la estrella neutrónica.

Un fuerte campo magnético y el movimiento a alta velocidad de las estrellas pulsares neutrónicas alrededor de su eje provocan en ellas la emisión de impulsos con la misma periodicidad con la que giran los propios pulsares. Pese a que es difícil imaginarse una revolución rápida con períodos de 0,002 a 4,75 s hasta de las estrellas de dimensiones excepcionalmente pequeñas, los cálculos teóricos confirman justamente tal rotación.

Las observaciones de los pulsares son inaccesibles para los aficionados a la astronomía ya que ello requiere el uso de instrumentos especiales.

En varios puntos de la Vía Láctea se han descubierto nebulosas brillantes de gas que también generan considerable radioemisión. En opinión de astrofísicos, todas esas nebulosas son residuos de las estrellas supernovas, que fulguraron hace mucho tiempo.

¿Existe semejante amenaza de explosión en nuestro Sol? Las investigaciones muestran que a las explosiones son susceptibles no todas las estrellas, sino las que tienen especial estructura y nuestro Sol enano no pertenece a tales estrellas y, por tanto, no puede explotar.

Seguramente, el lector ya se ha fijado en la circunstancia de que todas las estrellas nuevas y supernovas, anteriormente enumeradas, excepto la Estrella Nueva de Hércules, explotaron en la zona de la Vía Láctea. Por esta razón es muy útil estudiar de manera detallada las constelaciones situadas en ella, y observarlas regularmente en medida de lo posible.

8. Nebulosas luminosas difusas

No todas las nebulosas gaseosas, ni mucho menos, son residuos de las explosiones de las estrellas supernovas. Muchas existen por su propia cuenta, y justamente de su sustancia gaseosa se forman lentamente, a lo largo de millones de años, las estrellas. A tales cuerpos gaseosos difusos de forma irregular (barrada) pertenece la conocida Gran Nebulosa de Orión (fig. 37) situada en torno al Trapecio (ϑ de Orión), en el centro del triángulo formado de dos estrellas brillantes inferiores ($\varkappa$ y β) de Orión y la estrella ζ izquierda de esta constelación. En

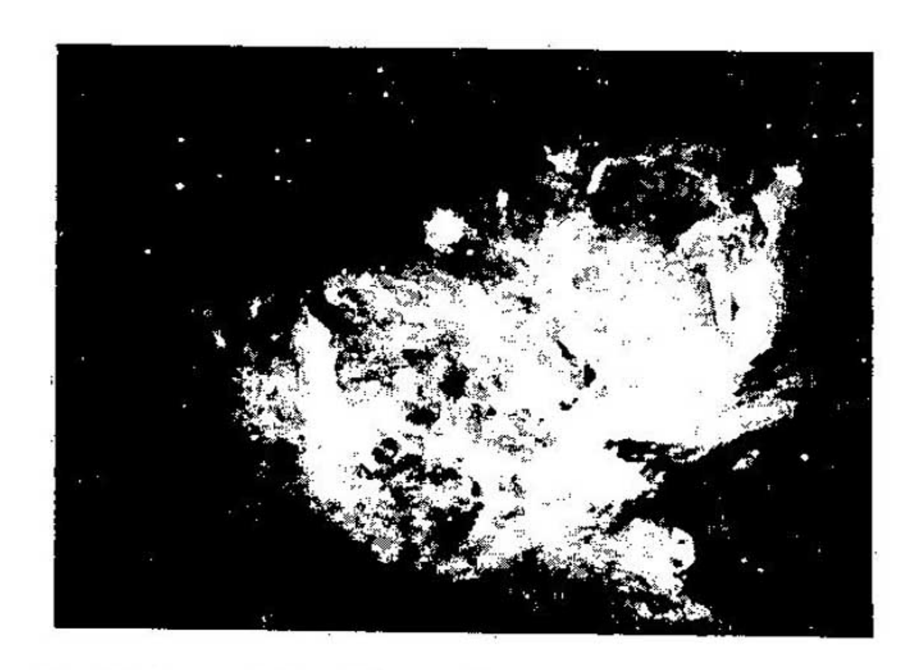


Fig. 37. Gran nebulosa difusa en la constelación de Orión

una noche sin luna ella se ve a simple vista como una mancha verde de débil luminosidad en la Espada de Orión y ya se ve bien con prismáticos potentes y pequeño telescopios. Las dimensiones visibles (angulares) de la Nebulosa de Orión son aproximadamente de 66′ × 60′. En cambio, las dimensiones lineales de esa masa de gas débilmente brillante son inmensas: la nebulosa ocupa un espacio de cerca de 20 años-luz de diámetro, o de cerca de $190 \cdot 10^{12}$ km, lo cual es fácil calcular según la distancia hasta nosotros, igual a 980 años-luz. La Nebulosa de Orión la integra también el polvo fino.

En nuestra Galaxia se encuentran una gran cantidad de nebulosas gaseosas, pero no todas, ni mucho menos, son accesibles para las observaciones con medios de aficionados. Hasta las más brillantes de ellas se ven con telescopios de potencia mediana como manchas vagas de neblina.

Además de la Gran Nebulosa de Orión, designada con el símbolo M 42 (según el catálogo de Messier), las nebulosas gaseosas brillantes se encuentran en las constela-



Fig. 38. Nebulosa planetaria «Anillo» en la constelación de la Lira

ciones del Sagitario, Zorro Menor, Cisne, Lira, Acuario y Gemelos. Una de ellas, M 20, llamada Triple, se halla en el centro entre las estrellas brillantes ζ del Sagitario y la η del Serpentario, a tres grados al suroeste de la estrella débil μ del Sagitario. Más abajo, a 1,5° de distancia, se encuentra otra nebulosa luminosa, M 8, llamada Laguna. En el mismo límite de las constelaciones del Sagitario, Escudo y Serpiente, casi en el centro entre la estrella η de la Serpiente y la δ del Sagitario es fácil detectar la nebulosa luminosa «Herradura» u «Omega» designada con el símbolo M 17.

Las nebulosas gaseosas luminosas cuya forma se parece a un disco o a un anillo fueron llamadas planetarias. La bella nebulosa planetaria M 57 (fig. 38) está situada en el centro entre las estrellas β y γ de la Lira. La nebulosa planetaria discoidal M 27, la «Pesa», está en la constelación del Zorro Menor casi en el centro entre la estrella α del Delfín y la β del Cisne. Con telescopios de potencia mediana perece binaria y, en efecto, recuerda

a una pesa gimnástica. Es interesante la nebulosa cuya forma se parece al planeta Saturno, ella se encuentra a 1° al oeste de la estrella ν de la constelación del Acuario. En el capítulo quinto se ofrece la lista de las nebulosas. Ellas deben observarse con un aumento no superior a 40 veces.

9. Sistemas estelares: galaxias

En el primer capítulo hemos conocido en breve nuestro sistema estelar, Galaxia, destacando su estructura espiral. Pero la Galaxia no es, ni mucho menos, el único sistema estelar. Lejos de sus límites, en los espacios infinitos del Universo se mueven cantidades incalculables de análogos sistemas estelares de diversas formas, estructura y dimensiones. Todos ellos se llaman galaxias.

El sistema estelar espiral más cercano, de estructura y dimensiones próximas a las de nuestra Galaxia se ve en la constelación de Andrómeda, a 1,5° al oeste de su estrella ν. Es conocida con el nombre de Nebulosa de Andrómeda y se designa con M 31 o NGC 224. Dista cerca de dos millones de años-luz de nosotros. A simple vista o con pequeños telescopios se ve como una mancha de neblina luminosa; la fotografía obtenida con una exposición larga de varias horas indica su estructura estelar (fig. 39).

Seguramente, para los supuestos habitantes de los planetas que giran alrededor de muchas estrellas de la Nebulosa de Andrómeda, nuestra Galaxia se presenta en la misma forma que percibimos dicha galaxia desde la Tierra. Por esta razón, la fotografía de la Nebulosa de Andrómeda permite comprender el aspecto general y la estructura de nuestro sistema estelar.

Las galaxias espirales tienen las más variadas formas. Las espirales estelares de unas galaxias se manifiestan con nitidez y están marcadamente separadas unas de otras, mientras que en otras galaxias forman numerosos brazos y son vagas. Además, hay galaxias cuyos brazos espirales se revelan débilmente y son apenas perceptibles.

En virtud de su orientación distinta en el espacio muchas galaxias están giradas con el perfil hacia nosotros y no podemos ver su estructura espiral, y sólo debido a una serie de indicios, en particular, a una densa franja

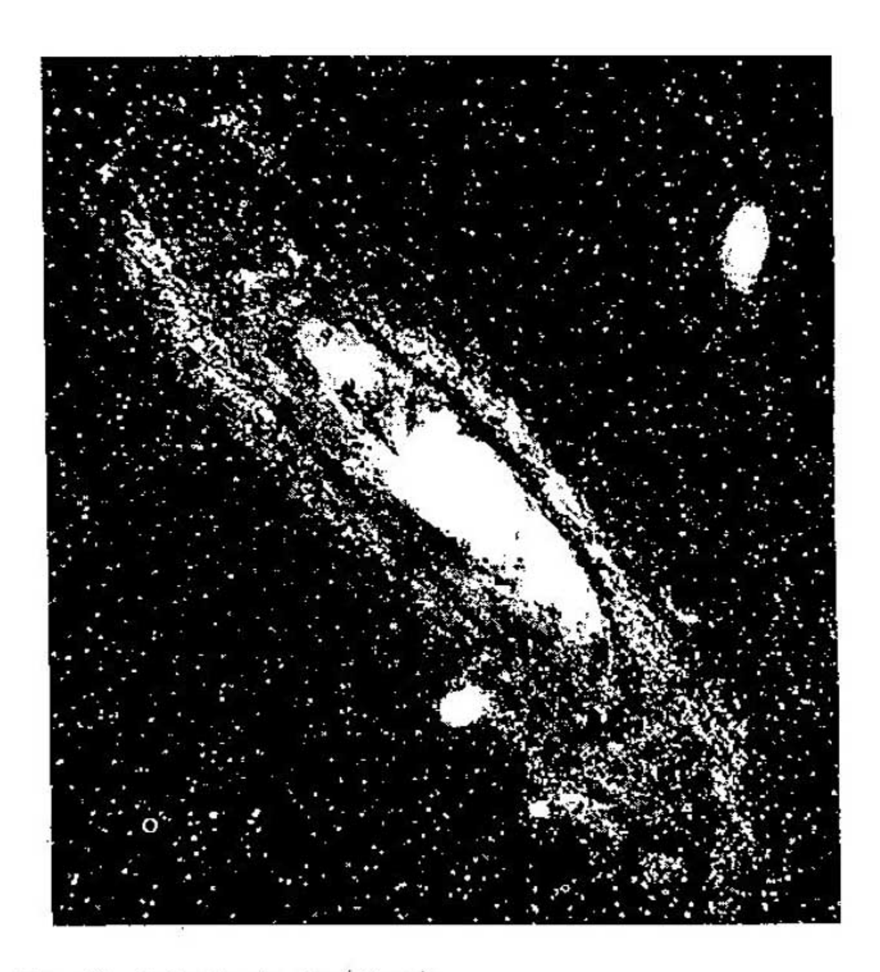


Fig. 39. Galaxia de Andrómeda

de materia de polvo opaca, situada a lo largo del perfil de la galaxia, podemos juzgar acerca de la presencia de espirales estelares.

Todas las galaxias espirales son sistemas estelares relativamente grandes. Sus dimensiones lineales reales son más o menos iguales a las de nuestra Galaxia y se miden en decenas y cientos de miles de años-luz.

Además de las galaxias espirales, en el Universo existen sistemas estelares elípticos e irregulares (barrados). Las galaxias elípticas tienen forma de elipse aparente. En realidad son elipsoides, es decir, cuerpos pare-

cidos a esferas, pero aplastadas a lo largo del eje de su rotación. Esas galaxias también están formadas de decenas de miles de millones de estrellas y sus dimensiones lineales también se miden en decenas de miles de años-luz.

Según muestra la propia denominación, las galaxias irregulares no tienen estructura regular, sus configuraciones son muy variadas. Las galaxias irregulares llamadas Nubes Mayor y Menor de Magallanes son las más cercanas a nosotros. Ambas se encuentran en el hemisferio austral del firmamento y se ven bien a simple vista en forma de manchas nebulosas aproximadamente de 8° y 3° de diámetro, pero son inaccesibles para las observaciones desde el territorio de la URSS. Distan de nosotros unos 200 000 años-luz, y sus dimensiones lineales son próximas a 28 000 y 10 000 años-luz, respectivamente. Según el astrónomo J. Vocouleur, en las dos Nubes pueden detectarse los residuos de una anterior estructura espiral.

Las galaxias manifiestan la tendencia a la conglomeración, es decir, a la formación de sistemas múltiples de dos o tres a cúmulos enteros de galaxias, integradas por cientos de sistemas estelares. En los últimos treinta años fueron descubiertas muchas galaxias estrechas de diversa multiplicidad, que evidencian su origen común. Muchas de ellas se designan con los símbolos VV (iniciales de apellido B. A. Vorontsov-Veliamínov, destacado astrónomo soviético, profesor, quien, junto con sus colegas, por primera vez las había estudiado de manera minuciosa y en 1959 publicó un atlas especial de tales galaxias).

Lamentablemente, en un pequeño libro es imposible describir con todo detalle estos objetos interesantes. Los que se interesan pueden hallar una descripción detallada en el excelente libro de T. A. Aguekián «Estrellas, galaxias, megagalaxias» (Moscú, Naúka, 1981, en ruso). Aquí sólo subrayemos que en la actualidad se conocen 10 mil millones de sistemas estelares contenidos en un volumen de espacio con un radio de cerca de 12 mil millones de años-luz, pero sólo algunos son accesibles para las observaciones con pequeños telescopios y además, en forma de manchas nebulosas débiles. En el capítulo quinto se aduce la relación de tales cuerpos. Deben observarse con un aumento de hasta 40 veces.

CAPITULO III

Astros en movimiento del cielo nocturno

10. Planetas

Alrededor del Sol se mueve una familia entera de cuerpos celestes: planetas, asteroides (planetas pequeños), cometas, enjambres meteóricos; todo el conjunto de esos cuerpos, incluidos los satélites de los planetas, se llama sistema solar.

En la actualidad la ciencia conoce nueve planetas alejados del Sol en el orden siguiente: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón. Forman el sistema planetario que es parte del Sistema Solar.

Según nuestras ideas terrestres, las dimensiones del sistema planetario son ingentes: cerca de 12 mil millones de km de diámetro; el último planeta, Plutón, dista cuarenta veces más del Sol que la Tierra, no obstante, subrayemos que incluso el diámetro del sistema planetario es insignificantemente pequeño en comparación con la distancia que nos separa de la estrella más cercana, la α del Centauro, la cual supera en 3500 veces el diámetro del sistema planetario.

En nuestro modelo, en el que la Tierra está representada con una mostacilla de 1 mm, debemos colocar otra mostacilla, el Plutón, a unos 460 m de distancia de la bola de croquet, el Sol.

A causa de las enormes distancias, el propio movimiento de las estrellas queda desapercibido en el transcurso de muchos milenios, en tanto que la relativa cercanía de los planetas permite observar su movimiento respecto a las estrellas, lo cual atrajo la atención ya en la remota antigüedad.

Todos los planetas representan esferas frías y opacas (es decir, no emiten luz), cuyas dimensiones son com-

parables con las de la Tierra. Son visibles porque los ilumina el Sol y cuanto más lejos del Sol está el planeta tanto peor se ilumina y tanto más débil parece. A simple vista los planetas se presentan como cuerpos puntiformes, semejantes a las estrellas y que, a diferencia de éstas, no ocupan una posición recíproca fija en el cielo, sino que de día en día se desplazan en el cielo, pasando gradualmente de una constelación a otra; de ahí proviene la propia denominación «planeta» que en griego significa «astro errante».

Los planetas lejanos Urano, Neptuno y Plutón, escasamente iluminados por el Sol, son accesibles a las observaciones sólo con telescopios. No obstante, Urano se parece a una estrellita débil casi de sexta magnitud estelar, que puede ser observada a simple vista, pero no existe ninguna posibilidad de diferenciarla por su aspecto de una multitud de semejantes estrellas débiles. El disco de Urano se ve bien al telescopio pequeño con un aumento de 100 veces, en tanto que para captar el disco de Neptuno se requiere un aumento de 150 veces para un telescopio con un diámetro del objetivo no inferior a 80 mm, ya que el brillo de Neptuno es próximo a la octava magnitud estelar. Estos dos planetas se deben encontrar por los datos de los calendarios-anuarios astronómicos, empleando para ello los mapas de la trayectoria aparente de los planetas y orientándose por las estrellas cerca de las cuales se hallan ellos.

En lo que a Plutón se refiere son vanos los intentos de localizarlo en el cielo. Para ver este planeta, cuyo brillo es igual a la 15ª magnitud estelar, debe utilizarse el telescopio con un diámetro del objetivo no menor de 30 cm.

Todos los demás planetas más cercanos al Sol se iluminan intensamente por los rayos solares y se ven bien a simple vista (excepto, desde luego, la Tierra) en el fondo del cielo estelar. Por eso los antiguos pueblos ya conocían cinco planetas: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno.

A diferencia de los planetas, los asteroides (planetas pequeños) son de dimensiones tan pequeñas que en la mayoría de los casos es imposible detectar sus discos ni siquiera con ayuda de telescopios potentes. Iluminados por el Sol aparecen como puntos brillantes semejantes a una estrella, a lo que deben su nombre de asteroides,

que en griego significa cuerpos de forma de estrella. El primer asteroide, Ceres, fue descubierto al telescopio el 1 de enero de 1801 por el astrónomo italiano Piazzi. Ahora están determinadas las órbitas de unos 3500 asteroides.

La aplastante mayoría de asteroides se mueven alrededor del Sol entre las órbitas de Marte y Júpiter, formando un anillo peculiar, el llamado cinturón de asteroides. Los períodos de rotación de la mayoría de los asteroides se encuentran en los límites de 2,95 a 8,87 años, en tanto que la distancia que los separa del Sol es de 2,06 a 4,29 veces mayor que la distancia entre la Tierra y el Sol. Sólo el 2% de asteroides gira alrededor del Sol con períodos de 1,12 a 2,78 años y algunos de ellos durante su movimiento penetran en el interior de la órbita de la Tierra, Venus e incluso de Marte. Además, en octubre de 1977 el astrónomo estadounidense Ch. Cowel descubrió un asteroide que se mueve en torno al Sol con un período de 50,7 años entre las órbitas de Saturno y Urano. Lo llamaron Hiron, según el nombre del centauro Hiron, amigo de Hércules en la mitología griega. Por lo visto, este asteroide no es una excepción y en la misma zona se harán muchos descubrimientos de los planetas pequeños.

Un trabajo colosal sobre el descubrimiento y el estudio de los planetas pequeños se realiza en la Unión Soviética, principalmente, en el Observatorio Astrofísico de Crimea y en el Instituto de Astronomía Teórica de la Academia de Ciencias de la URSS, así como en la Universidad Estatal de Letonia. Basta señalar que sólo de 1981 a 1984 los astrónomos soviéticos descubrieron 220 asteroides nuevos. Los asteroides descubiertos reciben el número de orden y el nombre sólo después de una minuciosa comprobación de los descubrimientos, lo cual requiere unos cuantos años de observaciones y sus comparaciones con los trabajosos cálculos. Los astrónomos que hacen descubrimientos gozan del privilegio de dar el nombre a los asteroides. Así, p. ej., los astrónomos soviéticos le dieron al asteroide que tiene el número 852 el nombre de Vladilena, en honor a Vladímir Ilich Lenin, fundador del Estado soviético. Los nombres de las Repúblicas de la URSS fueron concedidos a 15 asteroides. A muchos asteroides se les dio el nombre de repúblicas autónomas (Abjasia, Bashkiria, Buriatia, Tartaria, Chuvashia, etc.)

y de las ciudades héroes (Kíev, Leningrado, Odesa, Moscú, Sevastópol y otros).

No fue olvidada la gran Victoria del pueblo soviético sobre los ocupantes y verdugos fascistas; sobre este grandioso acontecimiento histórico nos recordarán siempre los nombres de los asteroides Pobieda (Victoria), Veterania y Stalingrad. En honor a los héroes de la Gran Guerra Patria de 1941—1945 llevan el nombre los asteroides Zhúkov, Rúdniev, Olshania, Kúnikov, Zoya, Lialia, Kuznetsov. También muchos otros héroes de la Unión Soviética quedaron inmortalizados en los nombres de los asteroides. Los asteroides descubiertos por los astrónomos soviéticos también llevan los nombres de notables estadistas y cosmonautas, célebres personalidades de la ciencia, la cultura, la literatura y el arte.

Los asteroides que se observan con medios técnicos de aficionados no presenta interés, por eso volvamos a los planetas accesibles para tales observaciones.

El planeta más cercano al Sol, Mercurio, da una vuelta completa alrededor del Sol en 88 días, por eso se mueve rápidamente en el firmamento: su desplazamiento ya se advierte durante un día. Por su movimiento rápido este planeta recibió el nombre del dios romano Mercurio, mensajero del dios principal Júpiter. Mercurio es seguido de un planeta muy brillante y muy bello por su brillo que lleva el nombre de la diosa del amor, Venus. El planeta de color rojizo heredó el nombre del dios de la guerra romano Marte. Júpiter, planeta brillante que se desplaza lentamente, debe su nombre al dios principal de la mitología romana; seguramente, en este caso, se tomó en consideración la marcha lenta y majestuosa de los soberanos romanos. Finalmente, el planeta de color amarillento amoratado que tarda mucho en recorrer las extensiones de una sola constelación fue llamado Saturno, en honor del dios romano del tiempo y de la agricultura.

La denominación sucesiva de los planetas en honor a los dioses de la antigua mitología romana fue interrumpida por W. Herschel, quien en 1871 descubrió un nuevo planeta denominado Urano en honor al dios del cielo, según la antigua mitología griega. No obstante, en 1846 J. Galle detectó al telescopio un nuevo planeta, cuya posición había sido calculada anteriormente por U. Leverrier, y que por su color verdiazul, semejante al de la

ola marina, volvió a llamarse Neptuno, nombre del Dios del mar romano. Finalmente, el planeta transneptuniano Plutón, cuya existencia fue predicha en 1905—1914 por P. Lowell basándose en cálculos astronómicos y descubierto fotográficamente en 1930 por C. Tombaugh, debe su nombre al antiguo Dios romano de las entrañas terrestres (de los infiernos), por cuanto está escasamente iluminado por el Sol. Es curioso que la idea de dar el nombre de Plutón al planeta recién descubierto pertenece a una niña de 11 años de edad, hija de un profesor de astronomía inglés.

Los planetas brillantes, visibles a simple vista, difieren marcadamente de las estrellas no sólo por su traslación notoria en el cielo, sino también por su luz uniforme e invariable, además, Júpiter y Venus se destacan por su potente brillo que supera considerablemente el de las estrellas brillantes.

Por cuanto los planetas se mueven alrededor del Sol en los planos inclinados respecto al de la órbita terrestre bajo un ángulo muy pequeño, el movimiento aparente de ellos pasa por las mismas constelaciones por las que se desplaza el Sol, es decir, por las constelaciones zodiacales. Es en estas constelaciones en las que se deben buscar los planetas *.

Para detectar el movimiento aparente de los planetas en el fondo del cielo estelar, es necesario controlar sistemáticamente su posición respecto a las estrellas. Si el observador dispone de un instrumento goniométrico (de un instrumento universal o de un teodolito) cabe medir de manera más o menos periódica las distancias angulares entre los planetas y dos o tres estrellas tomadas como puntos de referencia y registrando en este caso la hora con una precisión hasta de 10 minutos. Pero si el observador no tiene ningún instrumento goniométrico puede realizar tales observaciones por un método más sencillo. Para ello es necesario fabricar un cuadro de madera con dimensiones internas de 21 × 14 cm, en el cual se tienden hilos blancos de 3,5 cm de distancia uno de otro. En el listón inferior del cuadro se fija un mango para que durante las

---

*) A causa de la gran inclinación de su órbita, igual a 17°, Plutón puede alejarse notablemente de la eclíptica. Actualmente él se desplaza en la constelación de la Balanza, cerca de los límites de las constelaciones de la Virgen y de la Serpiente.

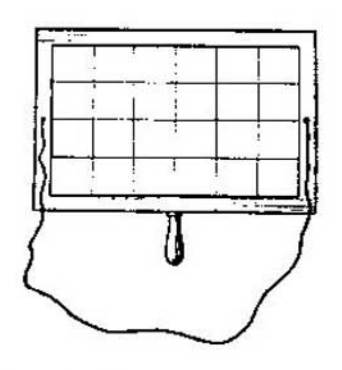
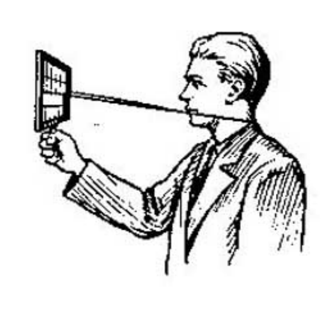



Fig. 40. Cuadro para observar la posición de los planetas

observaciones sea cómodo el uso de aquél y en el centro de los listones laterales se fija un cordón de tal longitud que el cuadro puesto en el cuello diste 40 cm del ojo del observador (fig. 40). Con tal posición cada uno de los cuadrados del cuadro abarca en el cielo un área de 5° × 5.

Durante las observaciones el cuadro se instala en un trípode o simplemente se sostiene con la mano. Uno de los cruces de los hilos se enfoca siempre hacia una misma estrella cercana al planeta, cuya posición se registra según se encuentre respecto a la cuadriculación de los hilos. Marcando de este modo las posiciones del planeta en el mapa estelar (o, mejor aún, en una copia del mapa) en el transcurso de varios días o semanas es fácil observar el desplazamiento del planeta.

Las condiciones de visibilidad de cada planeta varían y se repiten periódicamente dentro de intervalos de tiempo denominados períodos sinódicos de rotación de los planetas. Al terminar este período el planeta y el Sol recuperan la posición mutua inicial observada desde la Tierra, y todo vuelve a repetirse de nuevo. Esto se hace comprensible si recordamos las leyes del movimiento de los planetas alrededor del Sol establecidas empíricamente en 1608—1618 por el eminente astrónomo alemán Johannes Kepler (1572—1630).

Conforme a dichas leyes, los planetas giran alrededor del Sol por las órbitas elípticas (un poco alargadas), en virtud de lo cual la distancia entre cada planeta y el Sol cambian periódicamente dentro de pequeños límites. De manera periódica varía también la velocidad del movi-

miento del planeta: éste alcanza su velocidad máxima cuando pasa por el punto de la órbita más cercano al Sol y denominado perihelio, y la mínima corresponde al punto más alejado del Sol, llamado afelio. El perihelio y el afelio se hallan en el eje mayor de la órbita elíptica en direcciones contrarias respecto al Sol. La mitad del eje mayor de la órbita, llamada semieje mayor, equivale a la distancia media entre los planetas y el Sol. En la astronomía, los períodos de rotación de los planetas en torno al Sol se llaman períodos de revolución estelar o sidérea *, por cuanto una vez terminados, los planetas que se mueven fuera de la órbita terrestre, desplazándose por el cielo vuelven a las mismas estrellas, cerca de las cuales se encontraban al comienzo de su período sidéreo.

Los períodos de revolución sidérea T de los planetas están relacionados con las distancias medias a entre los mismos y el Sol mediante la tercera ley de Kepler

$$\frac{T_2^2}{T_1^2}=\frac{a_2^3}{a_1^3},$$

donde «1» indica el valor para un planeta y «2», el mismo valor para otro planeta.

Para los planetas del Sistema Solar esta ley puede escribirse del siguiente modo:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3}=\frac{T_2^2}{a_2^3}=\frac{T_3^2}{a_3^3}=\ldots=C,$$

con la particularidad de que el valor de C es igual para todos los planetas.

La tercera ley de Kepler tiene gran importancia. En primer lugar, une a todos los planetas en un sistema único y, en segundo lugar, permite a partir de los períodos de revolución en observación T, calcular las distancias medias a entre los planetas y el Sol en unidades relativas. Como tal unidad de medición de las distancias en el Sistema Solar se toma la distancia media de la Tierra al Sol (es decir, el semieje mayor de la órbita terrestre), denominada unidad astrónomica (U.A.).

Es lógico que el lector se interese por la cantidad de kilómetros que contiene una unidad astronómica y por el método empleado para medirla. Existen varios, pero

---

*) Del latín, *sidus*: astro.

aquí señalaremos sólo los principios del método radar más moderno. Un potente radar emite impulsos cortos de radioondas hacia el planeta Venus cuando éste pasa entre el Sol y la Tierra, es decir, en la época de la conjunción inferior del planeta (véase la pág. 109). Las radioseñales reflejadas de la superficie del planeta retornan a la Tierra y se registran por los radiorreceptores de alta sensibilidad. Los momentos de emisión y de recepción de los radioimpulsos se registran con alto grado de precisión, gracias a lo cual se determina el intervalo de tiempo necesario para que la radioseñal cubra la doble distancia entre la Tierra y Venus. Tomando la mitad de este intervalo de tiempo y multiplicándola por la velocidad de propagación de ondas radioeléctricas en el vacío (igual a 299 792,5 km/s) es fácil calcular la distancia (en km) que media entre la Tierra y Venus, y por cuanto las distancias de Venus a la Tierra y al Sol, expresadas en unidades astrónomicas, son bien conocidas de las observaciones astronómicas, no será difícil calcular la distancia media entre la Tierra y el Sol (en km), es decir, el valor de una unidad astronómica.

En la URSS tales mediciones fueron efectuadas en 1961 y 1962 por el grupo del académico V. A. Kotélnikov, en EE.UU., por Muleman y en Inglaterra, por Thomson. Todos ellos proporcionaron resultados muy similares, basándose en los cuales el XII Congreso de la Unión Astrónomica Internacional decidió adoptar (1964) el valor de 1 u.a. $= 149{,}6 \cdot 10^6$ km.

En años posteriores, gracias al perfeccionamiento de la técnica radar, pudo precisarse la longitud de la unidad astronómica, y en agosto de 1976 la UAI en su XVI Congreso aprobó el nuevo valor de 1 u.a. = 149 597 870 km, pero su longitud aproximada sigue considerándose igual a $149{,}6 \cdot 10^6$ km.

El método de medición por radar fue utilizado exitosamente para determinar la distancia a Mercurio, Marte, Júpiter, Saturno y la Luna.

Ahora pasemos al tema de las condiciones de visibilidad de los planetas. Es evidente que las condiciones de visibilidad de Mercurio y Venus que se mueven dentro de la órbita terrestre, serán distintas que las de los demás planetas. Los dos primeros planetes con frecuencia se llaman inferiores ya que se hallan respecto al Sol más

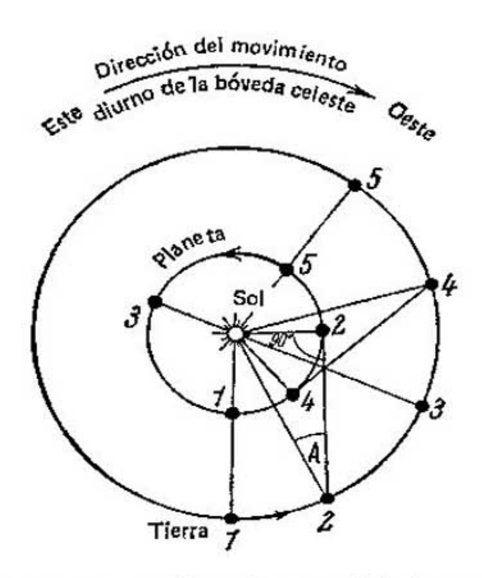


Fig. 41. Configuración de los planetas inferiores

abajo de la Tierra, mientras que los demás se denominan superiores, puesto que se mueven fuera de la órbita terrestre.

Los planetas inferiores pasan periódicamente entre el Sol y la Tierra: respecto a esta posición de los planetas, llamada conjunción inferior, empezaremos a estudiar las condiciones de su visibilidad. Es evidente (fig. 41) que cerca de la conjunción inferior (en la posición *1*) el planeta es inaccesible para las observaciones porque de día se halla sobre el horizonte no lejos del Sol. Todos los planetas se mueven alrededor del Sol en el mismo sentido que la Tierra: de oeste a este (en sentido antihorario, si se mira a la parte sur de la bóveda celeste), pero cuanto más se acerca el planeta al Sol tanto mayor es la velocidad de su movimiento. Al cabo de cierto tiempo, el planeta inferior, de mayor velocidad que la Tierra, se desplazará al oeste (a la derecha) del Sol y lo antecederá durante la rotación diurna del firmamento, en virtud de lo cual se ocultará tras el horizonte antes que el Sol, sin embargo saldrá antes que él, es decir, se hace visible en el crepúsculo matutino, al despuntar el día. Esta elongación occidental del planeta respecto al Sol aumenta gradualmente y, por fin, alcanza el valor máximo *A* (posi-

ción 2), con el cual la recta que une la Tierra y el planeta se hace tangente a la órbita de este último. Con la máxima elongación occidental del planeta se crean las condiciones más propicias para las observaciones.

Tras la máxima elongación occidental la distancia visible entre el planeta y el Sol vuelve a disminuir lentamente, empeorándose las condiciones de su visibilidad matutina y, finalmente, al ocupar la posición *3* el planeta de nuevo es invisible, dando lugar a su conjunción superior con el Sol. Luego el planeta se desplaza hacia el este (a la izquierda) del Sol y ahora lo sigue durante su rotación diurna, debido a lo cual se hace visible por las noches en la parte oeste de la bóveda celeste, tras la puesta del Sol.

En la posición *4* (las mejores condiciones para las observaciones), la elongación oriental alcanza el valor máximo y otra vez empieza a decrecer hasta llegar a la sucesiva conjunción inferior (posición *5*).

Las velocidades del movimiento del planeta y de la Tierra son diferentes en virtud de lo cual la siguiente conjunción inferior no tendrá lugar en los anteriores puntos de sus órbitas, sino en otros, o sea que el período de cambio de las configuraciones de los planetas, denominado período de revolución sinódica *), difiere del sidéreo. El período de revolución sinódica de Mercurio es de 116 días, mientras que el de Venus, de 584 días, en tanto que sus períodos sidéreos son de 88 y 225 días, respectivamente. Al cabo de cada período sinódico vuelven a darse las mismas condiciones de visibilidad de los planetas. Sin embargo, no siempre ocurre esto, ya que a causa de la declinación periódicamente cambiable de los planetas algunas épocas de la visibilidad pueden ser desfavorables.

Las máximas elongaciones respecto al Sol son las épocas más propicias para las observaciones de los planetas,pero a causa de la magnitud de su distanciamiento queda limitada la duración de las observaciones matutinas o vespertinas. Así, Mercurio, en virtud de su proximidad al Sol (su distancia media del Sol es de 0,387 U.A.), no puede alejarse de él más que 28°, razón por la cual es difícil observarlo: por lo general, es visible en el fondo

*) De la palabra griega *«sinodos»*: conjunción.

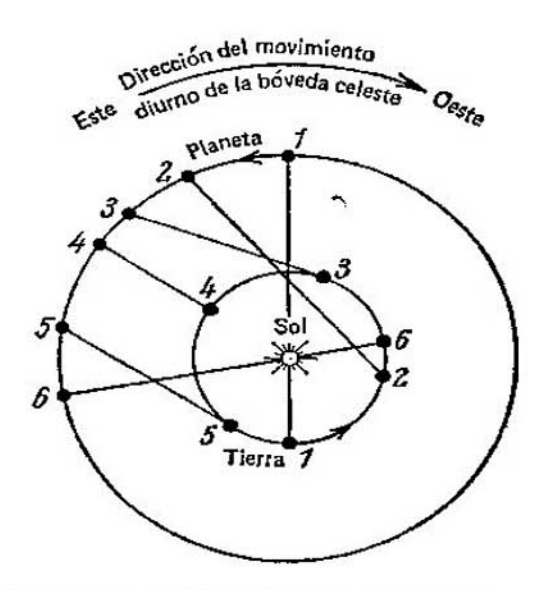


Fig. 42. Configuración de los planetas superiores

del crepúsculo matutino o vespertino durante no más de 1...1,5 h antes de salir o después de ponerse el Sol, y muy raras veces la duración de la visibilidad alcanza dos horas. Venus está alejada del Sol más que Mercurio (la distancia media es de 0,723 U.A.), por eso sus máximas elongaciones alcanzan 48°, lo cual aumenta la duración de la visibilidad matutina y vespertina hasta cuatro horas. Cuando muy por la mañana, antes de salir el Sol, en la parte oriental del cielo, o por la tarde en la occidental, aparece un astro brillante, sepan que lo que resplandece es el planeta Venus, cuyos enigmas de su naturaleza física sólo comienzan a descubrirse gracias a los éxitos de la astronomía y astronáutica.

Volvamos ahora a los planetas superiores que, más alejados del Sol que la Tierra, se mueven más lentamente que ella. Empecemos a examinar las condiciones de la visibilidad del planeta superior por la configuración, llamada conjunción, con la cual el planeta está situado tras el Sol y es inaccesible para las observaciones (fig. 42, posición *1*). Al cabo de cierto tiempo el planeta y la Tierra ocupan la posición *2*, y el planeta, situado al oeste del Sol, le precede durante el movimiento diurno de la bóveda celeste, por lo cual se hace visible en la

parte oriental del firmamento por la mañana, antes de la salida del Sol. La elongación occidental del planeta respecto al Sol crece paulatinamente, cada día sale más temprano y las condiciones de su visibilidad mejoran de manera notable. En la posición *3* el planeta está situado ya a 90° al oeste del Sol (cuadratura occidental), lo cual significa que el planeta sale a medianoche y se ve hasta el amanecer. La distancia entre el planeta y el Sol aumenta de manera gradual, en la posición *4* el planeta alcanza 180° y se halla en oposición al Sol, llega la época más favorable para las observaciones. En este período el planeta sale por la tarde a ponerse el Sol, y se pone cuando sale el Sol, o sea, es visible toda la noche, además, la distancia entre el planeta y la Tierra se reduce al mínimo, lo que permite hacer un estudio relativamente detallado del disco del planeta. En la época de la oposición la Tierra adelanta al planeta, por eso desde la Tierra nos parece que durante cierto tiempo el planeta se desplaza hacia atrás, de este al oeste (movimiento retrógrado). Tras la oposición empieza la elongación oriental del planeta respecto al Sol, la distancia angular entre ellos disminuye y las condiciones de la visibilidad empeoran paulatinamente: cada día el planeta se pone cada vez más temprano tras el horizonte. En la posición *5* de nuevo llega la cuadratura, pero ya es oriental: el planeta está alejado a 90° al este del Sol, durante la puesta de éste se halla en la parte sur del cielo y se pone cerca de la medianoche. Al cabo de cierto tiempo ya podemos verlo en el crepúsculo vespertino y luego tiene lugar la conjunción ordinaria con el Sol (posición *6*). Aquí, al igual que en el caso de los planetas inferiores, las configuraciones iguales (*1* y *6*) se dan en diferenctes puntos de las órbitas de los planetas, es decir, el período de revolución sinódica no coincide con el sidéreo (real). El período de revolución sidérea de Marte $T = 687$ días, el sinódico $S = 780$ días; el de Júpiter $T = 11{,}86$ años y $S = 399$ días y el de Saturno $T = 29{,}46$ años y $S = 378$ días.

En el Calendario Anual Astrónomico de la Sociedad de Astronomía y Geodea Nacional (SAGN) se publican datos detallados sobre las condiciones de visibilidad de los planetas; una información menos detallada sobre las mismas condiciones se da en el Calendario Astronómico Escolar.

En la actualidad lo importante no es observar el movimiento de los planetas, sino estudiar sus discos que registran los cambios. Cabe señalar que las observaciones de Mercurio y Venus empleando modestos medios de aficionados no pueden proporcionar ningun resultado positivo. Los períodos de visibilidad de Mercurio son muy breves, además éste se ve, como regla, sobre un fondo claro del crepúsculo matutino o vespertino, lo cual dificulta el estudio de su superficie que, hablando en general, es accesible para las observaciones ya que Mercurio prácticamente no tiene atmósfera. Pero a causa de sus dimensiones relativamente pequeñas (el diámetro de Mercurio es de 4880 km), el diámetro angular de su disco también es muy pequeño y según su posición varía dentro de los límites de 5″ a 12″, y en las épocas de las condiciones de la visibilidad más favorables no supera 9″. Es evidente que con pequeños telescopios pueden verse sólo las fases de Mercurio análogas a las de la Luna, pero que se suceden en el orden contrario.

En dependencia de la posición de Mercurio respecto al Sol y a la Tierra, su brillo en los diferentes períodos de visibilidad varía dentro de los límites de −1,5 a +2,0 magnitud estelar, y en el segundo caso es difícil localizarlo en la esfera celeste. La tarea de encontrar un planeta se facilita en gran medida si se utilizan calendarios astronómicos que contienen información sobre la posición de los planetas.

Por observaciones de radar y exploraciones realizadas desde la estación automática «Mariner 10» (1974) se ha establecido que Mercurio gira en torno a su eje, igual que la Tierra, pero el período de revolución no es de 88 días como se pensaba antes, sino de 58,6 días. Si este período se compara con el de rotación del planeta alrededor del Sol (88 días) resulta que en Mercurio el día solar (espacio de tiempo comprendido entre dos mediodías sucesivos) es igual a 176 días terrestres.

A diferencia del eje terrestre desviado 23°26′ de la perpendicular al plano de la órbita de la Tierra, el eje de rotación de Mercurio bien puede ser perpendicular al plano de su órbita o estar desviado de la perpendicular en un pequeño ángulo, no superior a 1°. Por eso, a diferencia de la Tierra, prácticamente en toda la superficie de Mercurio el día y la noche duran cada uno 88 días te-

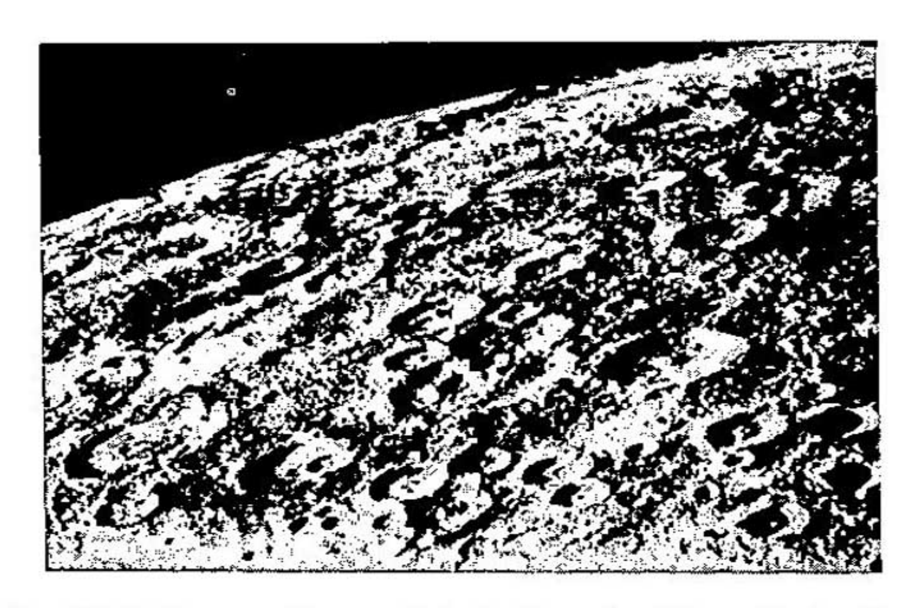


Fig. 43. Cráteres en la superficie de Mercurio (fotografía de «Mariner-10»)

rrestres, es decir todo un uno año mercuriano dura el día, y todo el año siguiente dura la noche.

En la zona ecuatorial del planeta, en la que al mediodía el Sol pasa por el cenit, la temperatura de la superficie alcanza +430°C, mientras que en la cara oscura (opuesta) desciende a —180°C. Partiendo de las mediciones, realizadas desde la Tierra, del poder reflector y de la conductibilidad térmica, los astrónomos llegaron a la conclusión de que la superficie de Mercurio es muy parecida a la lunar. Así resultó ser en realidad. La estación automática interplanetaria estadounidense "Mariner-10", lanzada el 3 de noviembre de 1973 hacia Venus y Mercurio, a finales de marzo de 1974 se acercó al último y fotografió su superficie desde distintas distancias, incluso desde la mínima (720 km), a la que pasó junto al planeta el 30 de marzo de 1974. La fotografía de Mercurio evidencia la total similitud de su superficie a la de la Luna (fig. 43). Al igual que la superficie lunar, la de Mercurio tiene numerosos cráteres de tamaño distinto, largos y estrechos valles y cordilleras dispersas a grandes distancias una de otra. Sin embargo, en Mercurio no fueron

detectadas las depresiones redondas análogas a los mares lunares, excepto una sola, de 1300 km de diámetro, denominada Mar del Calor (Caloris), aunque hay depresiones de pequeño tamaño. Los cráteres más grandes fueron denominados con los nombres de relevantes personalidades en el campo de humanidades, de la literatura y el arte. Así, el mayor de ellos, de 625 km de diámetro se llama Beethoven. Una serie de corifeos de la cultura mundial dieron nombre a los cráteres Tolstói (de 400 km de diámetro), Dostoievski (390 km), Shakespeare (350 km), Homero (320 km), Pushkin (200 km), Chéjov (180), Chaikovski (160 km), Rubliov (125 km), Súrikov (105 km), Repin (95) y otros.

La masa de Mercurio constituye tan sólo 0,055 de la Tierra. El campo magnético de Mercurio es muy débil, 200 veces menor que el terrestre. Mercurio carece de satélites.

Es mucho más interesante observar Venus, aunque sea por el hecho de que cerca de las épocas de sus conjunciones inferiores, cuando aparece en forma de una hoz estrecha, su diámetro angular alcanza 1′. Es relativamente fácil localizar este planeta en el cielo en las épocas de su visibilidad. Ya sabemos que se ve pocas horas antes del amanecer en la zona este de la esfera celeste o por las noches en la parte oeste del firmamento. Su brillo siempre es muy fuerte y varía en los límites de −4,4 a −3,1 magnitud estelar, es decir, entre todos los conocidos cuerpos asteroideos Venus es el astro más potente en la bóveda celeste.

Pero el observador tendrá una gran desilusión: Venus está rodeada de una espesa atmósfera, descubierta el 6 de junio de 1761 por M. V. Lomonósov, además está ofuscada por una capa densa de nubes que impiden la contemplación de su superficie.

Al mismo tiempo la nubosidad de Venus no es ningún obstáculo para las observaciones radioastrónomicas que permitieron determinar una serie de sus características. Según las radioobservaciones, el radio de Venus resultó ser igual a 6050 km. Por radiotécnicas se estableció que el eje de rotación del planeta es casi perpendicular al plano de su órbita y está desviado de su perpendicular en no más de 2°, mientras que el propio planeta gira alrededor de su eje de este a oeste (es decir, en sentido

opuesto al movimiento de la Tierra) con un período de 243 días. Al comparar este período con el de revolución de Venus en torno al Sol (225 días) en sentido directo, la duración de un día solar de Venus resulta ser igual a 117 días terrestres y a causa de una inclinación muy pequeña del eje los dos hemisferios del planeta están iluminados en igual grado, y casi en toda su superficie el día y la noche duran cerca de 58 días terrestres, excepto las zonas polares (2° en torno a los polos), en el centro de las cuales la duración del día y de la nocha llega a ser 112 días terrestres. En Venus no hay cambios de estaciones. El planeta no tiene ningún satélite.

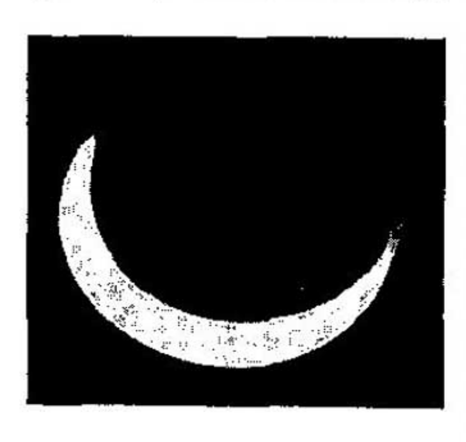


Fig. 44. Cuernos de Venus

La espesa atmósfera que rodea al planeta genera un efecto muy interesante, no registrado en la Luna ni en Mercurio: cuando Venus está en las fases de los cuartos, sus puntos se prolongan excepcionalmente (fig. 44) llegando a unirse en ocasiones. Este fenómeno se explica por la refracción de la luz solar en la atmósfera de Venus.

Los datos más interesantes sobre Venus fueron obtenidos en 1967—1983 por las estaciones automáticas interplanetarias soviéticas «Venus-4-16», con la particularidad de que las estaciones «Venus-7 y 8», se posaron suavemente sobre la propia superficie del planeta, y de las «Venus-9 y 10» se desprendieron las cápsulas de aterrizaje, que descendieron sobre la superficie, en tanto que estas dos estaciones se convirtieron el 22 y el 25 de octubre de 1975 en los primeros satélites artificiales del planeta Venus y confirmaron que su masa es 0,815 de la de la Tierra.

En diciembre de 1978 sobre la superficie de Venus se posaron las cápsulas (módulos de descenso) de las estaciones automáticas «Venus-11 y 12», las cuales, al igual que las estaciones anteriores, se transformaron en satélites artificiales del planeta. El 1 y el 5 de marzo de 1982 en

Venus se posaron suavemente distantes 1000 km uno de otro los módulos de descenso de las estaciones «Venus-13 y 14», mientras que las propias estaciones continuaron su vuelo por las órbitas alrededor del Sol teniendo como fin el explorar el espacio interplanetario.

El 10 y el 14 de octubre de 1983 los ingenios «Venus-15» y «Venus-16» se convirtieron en los siguientes satélites artificiales del planeta Venus.

Durante el descenso de la estación se hicieron mediciones con aparatos automáticos de la temperatura y presión en diferentes niveles de la atmósfera venusiana, así como determinaron aproximadamente su composición química. Se aclaró que la atmósfera de Venus contiene 96 % de gas carbónico, 3 % de nitrógeno, no más de 0,05 % de vapor de agua y una cantidad ínfima de oxígeno.

Debido al contenido predominante de gas carbónico, en el planeta se genera el efecto de invernadero que consiste en que los rayos solares normales atraviesan la atmósfera venusiana y calientan su superficie, pero la radiación térmica de la misma, más la procedente de las entrañas del planeta, no pueden salir al espacio circundante, ya que lo impide la atmósfera. La superficie del planeta envuelta en una peculiar «manta caliente» de atmósfera carbónica y nubes es muy caliente y las capas inferiores de la atmósfera contiguas a él tienen una alta temperatura de cerca de +470°. La presión que crea esta atmósfera pesada sobre la superficie del planeta es de 95 atmósferas.

En la atmósfera de Venus soplan constantes vientos. La velocidad del viento cerca de la superficie es insignificante (de 0,5 a 1,0 m/s), pero con la altura va aumentando. A mediados de junio de 1985, desde dos estaciones cósmicas soviéticas «Vega-1» y «Vega-2», destino al cometa Halley (véase más adelante), que pasaban junto a Venus fueron lanzadas dos sondas aerostáticas, las cuales durante dos días terrestres realizaron exploraciones y establecieron que a 50 km de altura sobre la superficie del planeta la velocidad del viento alcanza el valor máximo: hasta 100 m/s.

Datos interesantes fueron obtenidos por la estación automática estadounidense «Mariner-10» que a primeros de febrero de 1974 voló cerca del planeta Venus y se acercó a él a 5740 km de distancia. En las fotografías de Venus



Fig. 45. Fotografía de Venus desde la distancia de 726 mil km (foto de «Mariner-10»)

se ven grandes claros en sus nubes y la rápida rotación de la capa de nubes en torno a su eje, la cual origina la formación de zonas concéntricas en ella (fig. 45).

La capa de nubes se halla situada entre 48 y 68 km de altura sobre la superficie del planeta y representa una ligera niebla formada principalmente de gotas de ácido sulfúrico.

La atmósfera de Venus junto con sus nubes refleja cerca del 75 % de la luz solar y atenúa en gran medida la iluminación de la superficie del planeta. Sin embargo, en la cara de Venus expuesta al Sol la iluminación es tan clara como en un día nublado en la Tierra, lo cual queda confirmado por las perfectas imágenes televisivas de la superficie del planeta en los puntos de avenuzaje de las cápsulas reentrantes de «Venus-9 y 10» y de «Venus-13 y 14». La cápsula de «Venus-13» descenddió sobre un lugar rocoso de cerca de 2 km de altura, en el que se pudieron ver flujos de lava solidificada y gran cantidad de

piedras puntiagudas de distintas dimensiones. En cambio, la cápsula de «Venus-14» se posó en una llanura con colinas bajas (cerca de 0,5 km de alto), en las que abundan losas de piedras grandes rocosas cubiertas de taludes de asperón pardo (fig. 46). Ambas cápsulas de reentrada realizaron un análisis químico del suelo de Venus y establecieron su afinidad con las rocas terrestres.

El sondeo por ecos radioeléctricos, efectuado por astrónomos desde la Tierra, y por los satélites artificiales de Venus demosró que la superficie del planeta es mucho más plana que la de la Tierra. Cerca del 90 % de la superficie de Venus la ocupan las llanuras, y hasta el 8 %, alargadas zonas montañosas, la más extensa de las cuales tiene 15 000 km de longitud. En la superficie del planeta hay mesetas y cordilleras, montes aislados, volcanes, cráteres, depresiones, valles, grietas y quebraduras. La altura de la mayoría de los montes y platos montañosos sobre las depresiones no supera 5...6 km, no obstante, uno de los picos de la cadena de montañas más extensa (hasta 1100 km), llamada Montes de Maxwell, se eleva casi 12 km. En la pendiente de este monte está situado un cráter volcánico de 95 km de diámetro y hasta de 2 km de profundidad.

El número de cráteres en la superficie de Venus es incomparablemente menor que en la mercuriana, pero sus dimensiones son igualmente grandes: de 30 a 300 km en su eje menor. Las llanuras cubiertas de colinas tienen gran cantidad de salientes cónicos esféricos dispersos, de origen volcánico, en cuyas vertientes son frecuentes los cráteres. En la zona ecuatorial del planeta fue descubierto un gran cañón gigantesco de 1900 km de longitud, 200 km de anchura y 2 km de profundidad. Venus no tiene ningún embalse de agua ni campo magnético.

A los accidentes en la superficie del planeta se adoptó universalmente (con raras excepciones) darles los nombres femeninos: a los de mayor tamaño, los nombres de diosas de las antiguas culturas y personajes mitológicos, a los demás, los nombres de las mujeres que hicieron gran aporte al desarrollo de la ciencia, cultura y arte.

Al telescopio se perciben bien las fases de Venus, pero sólo se puede observar su manta nubosa. En cambio, los aficionados a la astronomía pueden realizar útiles observaciones de Marte, Júpiter y Saturno. Lo mejor es hacer-

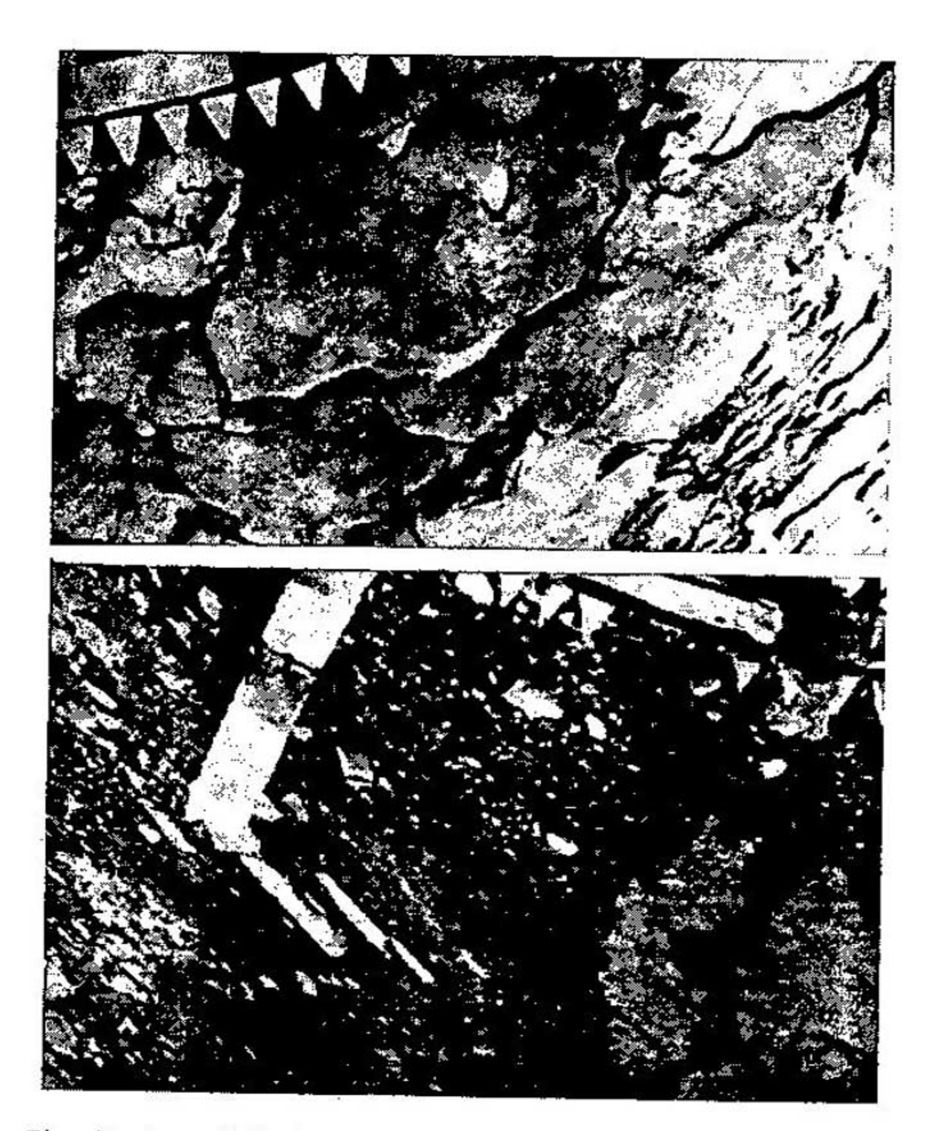


Fig. 46. Superficie de Venus en los lugares de avenizaje de las cápsulas (vehículos) de reentrada «Venus-13» (arriba) y «Venus-14» (abajo)

lo en las épocas de oposiciones, cuando se hallan más cerca de la Tierra que en otras configuraciones. Sin embargo, también durante las oposiciones son diferentess las condiciones de visibilidad de los planetas. Si las oposiciones están en las constelaciones del Toro, de los

Gemelos y del Cangrejo, que se ven bien en invierno, los planetas junto con las constelaciones se elevan muy alto, permaneciendo largo tiempo sobre el horizonte. Si las oposiciones tienen lugar en las constelaciones zodiacales de verano (Escorpión, Sagitario y Capricornio), el curso diurno de estos planetas sobre el horizonte, al igual que el de las constelaciones, es relativamente corto, y en las noches breves de verano disminuye en gran medida la duración de la visibilidad de los planetas.

El brillo y las distancias de Júpiter y Saturno en las épocas de sus oposiciones en distintos años varían poco, ya que estos planetas están muy alejados del Sol: la distancia media a Júpiter $a = 5{,}203$ U.A y la de Saturno $a = 9{,}539$ U.A. La distancia entre la Tierra y el cercano Marte ($a = 1{,}524$ U.A.), que gira alrededor del Sol por un órbita muy elíptica, durante las oposiciones puede aumentar o disminuir casi dos veces: de 101,3 a 55,6 milliones de km, y la diferencia de brillo puede ser de 10 veces: de $-0{,}1^m$, a $-2{,}6^m$. Llámanse máximas las oposiciones de Marte cuando su distancia a la Tierra no supera 60 millones de km (cerca de 0,40 U.A); se repiten cada 15 y 17 años y son las más favorables para observar este planeta.

La última oposición máxima de Marte tuvo lugar el 28 de septiembre de 1988 a unos 59 millones de distancia a la Tierra (0,396 U.A) y el planeta se veía bien de agosto a noviembre de 1988 entre las estrellas débiles de la constelación de los Peces.

Se sabe que la rotación de Marte alrededor de su eje es semejante a la de la Tierra. Su día dura 40 minutos más que que el terrestre, y la inclinación del eje respecto a la perpendicular al plano de su órbita es igual a 24°56′ (la de la Tierra es 23°26′), de modo que en este planeta suceden regularmente las estaciones del año, pero Marte recibe del Sol dos veces menos calor que la Tierra. La masa del planeta es 0,107 de la de la Tierra y el diámetro es dos veces menor, y se ve en las épocas de las máximas oposiciones bajo el ángulo de 25″, lo cual permite estudiar relativamente bien la superficie del planeta.

Toda ciencia tiene sus convencionalismos. Así los astrónomos acordaron llamar continentes las regiones claras, de color naranja de la superficie del planeta; mares, las extensas regiones oscuras; golfos, sus zonas

salientes, y lagos, las pequeñas manchas aisladas. En las condiciones atmosféricas excepcionalmente buenas para las observaciones, en la superficie de Marte se percibe una red de finas líneas oscuras («canales»), descubiertas en 1877 por el astrónomo italiano G. Schiaparelli. Sin embargo, dichos canales resultaron ser una ilusión óptica.

En el verano de 1969 las estaciones estadounidenses «Mariner-6» y «Mariner-7» tomaron fotos detalladas de los sectores de la superficie de Marte desde 3400 a 1800 km de distancia. La primera estación fotografió principalmente las regiones de la superficie del hemisferio boreal del planeta en el cual en aquel entonces era temprano otoño, en tanto que la segunda enviaba fotos de las regiones del hemisferio austral donde era temprana primavera.

El 14 de noviembre de 1971 la estación automática estadounidense «Mariner-9», y el 27 de noviembre, el 2 de diciembre de 1971 y el 12 de febrero de 1974 las estaciones automáticas soviéticas «Marte-2», «Marte-3» y «Marte-5» se convirtieron en satélites artificiales de Marte *; el 20 de julio y el 4 de septiembre de 1976 en la superficie del planeta se posaron consecutivamente las cápsulas de las estaciones norteamericanes «Vikingo-1» y «Vikingo-2» que se quedaron en las órbitas de los satélites artificiales de Marte. Fueron obtenidas excelentes fotos de la superficie de Marte y realizados con aparatos especiales los estudios sobre la temperatura del planeta, su atmósfera y el campo magnético.

En las fotos no se registró ningún canal, en cambio se veían con claridad los profundos desfiladeros, barrancos, restos de cauces de anteriores ríos, quebraduras en la corteza, cadenas de montañas, y picos de hasta 15 km, pliegues, terraplenes, valles. dunas de arena y gran multitud de cráteres de 100 a 200 km de diámetro (fig. 47). Lo que desde la Tierra se consideraba «gran canal de Agatodemon» resultó ser una larga cadena de montañas de unos 1200 km de longitud y, aproximadamente, 150 km de ancho, abundante en cráteres y desfiladeros. A los cráteres grandes se les dio el nombre de relevantes cien-

---

*) Las estaciones automáticas «Marte-4» y «Marte-7» cumplieron las tareas planteadas desde las trayectorias de paso (febrero—marzo de 1974).

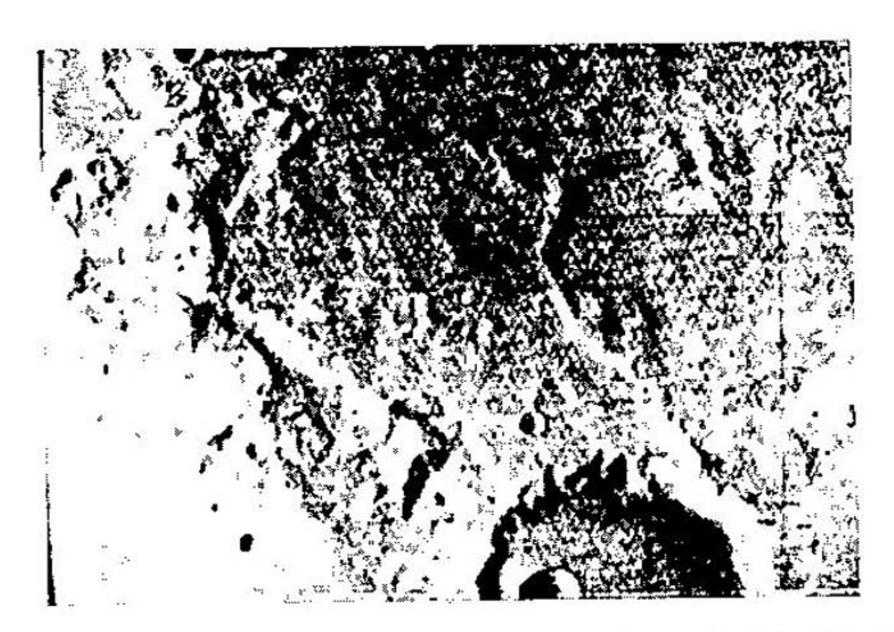


Fig. 47. Cráteres y cadenas de montañas en la superficie de Marte

tíficos, principalmente, de astrónomos, físicos y geofísicos.

El planeta tiene montes volcánicos cónicos con gargantas en pináculos y con corrientes de lava de basalto solidificado en sus pendientes. Cuatro de los volcanes más altos, uno de los cuales se llama Olimpo, se elevan 20—21 km sobre la planicie y son los más altos en el Sistema solar. El eje menor al pie de estos volcanes oscila entre 500 y 600 km, y el diámetro de los cráteres en sus cimas es de 60 a 100 km.

Evidentemente, en el pasado Marte fue un planeta activo, lo que se confirma por las quebraduras en la corteza, los restos de cauces de los antiguos ríos y la abundancia de bloques y piedras de basalto en las zonas de aterrizaje de las cápsulas de los dos «Vikingos» separados a una distancia de 7300 km. En Marte hay también extensos desiertos de arena cubiertos de dunas y gran cantidad de piedras de distinto tamaño (fig. 48).

Así pues, el relieve de la superficie de Marte, al igual que, digamos de la Tierra, es muy variado, lo cual es muy natural para un cuerpo celeste.



Fig. 48. Desierto con dunas de arena en la superficie de Marte (foto obtenida desde el «Vikingo-1»)

Las investigaciones, realizadas por las estaciones «Mariner», «Marte» y «Vikingo», muestran que la atmósfera marciana está muy rarificada. La presión atmosférica en la superficie del planeta no supera 0,007 atmósferas, o sea, 5 mm de la columna de Hg. La atmósfera de Marte contiene 95 % de gas carbónico, cerca de 2,5 % de nitrógeno, 1,5 % de argón y, aproximadamente, 0,2 % de oxígeno. Los vapores de agua existen en pequeñas cantidades, pero una notable diferencia de su contenido sobre distintas regionas de la superficie del planeta induce a suponer que proceden del suelo. La estación «Vikingo-2» registró una espesa niebla en los valles montañosos y las nubes que envuelven los picos de los montes. Juzgando en general, las nubes están formadas de menudos cristales de hielo.

La presencia de vapores de agua en la atmósfera de Marte viene confirmada por la existencia de casquetes polares blancos situados en torno a los polos del planeta. En invierno los casquetes polares cubren grandes áreas: hasta el 40° del polo. Pero en verano el casquete boreal desaparece por completo, en tanto que el austral se reduce al mínimo y tiene el aspecto de una pequeña mancha blanca. Los dos casquetes están formados de hielo de agua con inclusiones de gas carbónico solidificado, cuya temperatura de congelación en las condiciones marcianas es próxima a —80 °C, mientras que en las zonas polares del planeta en invierno la temperatura desciende hasta —125 °C. En la zona ecuatorial del planeta de día la temperatura puede ascender a +25 °C y antes de amane-

cer baja hasta —90 °C. Esas oscilaciones de la temperatura se hacen bien comprensibles si recordamos que la atmósfera del planeta está muy rarificada y conserva mal el calor recibido del Sol.

En Marte fue detectado el campo magnético, pero es 500 veces menor que el de la Tierra.

Ahora ya sabemos muchas cosas interesantes sobre Marte, sin embargo en un libro pequeño es imposible relatarlo todo, por eso recomendamos que el lector mismo empiece a realizar las observaciones sistemáticas de Marte. Serán más completas y enjundiosas si se utilizan los vidrios de color: filtros de luz.

Serán vanos los intentos de fotografiar el planeta, pues en las copias obtenidas con pequeños telescopios es imposible distinguir los detalles de su disco. Son mucho más racionales las observaciones visuales, que consisten en hacer los bosquejos de los detalles visuales de la superficie del planeta. En una hoja de papel con anticipación se traza una circunferencia de 5 cm de diámetro en la que durante las observaciones se marcan los detalles que se ven en el planeta. Al principio deben dibujarse los contornos generales de los detalles para luego concretarlos.

Durante todas las observaciones es necesario registrar la fecha, la hora (con una precisión de hasta 1 min), el estado del cielo, la presencia de la Luna, la marca y el diámetro del objetivo del telescopio, la amplificación utilizada y las marcas de los filtros de luz.

Si para observar no se usan filtros de luz hay que anotar el color de los detalles con palabras o según la graduación siguiente: —5 es azul intenso; —4, azul claro; —3, verde azul; —2, verde intenso; —1, verde claro; 0, blanco; +1, amarillo claro; +2, amarillo intenso; +3, amarillo oscuro; +4, anaranjado; +5, rojo.

Más valiosas son las observaciones de Marte a través de los filtros de luz que aumentan en grado considerable el contraste de los detalles según su color. Es deseable emplear los filtros rojo, amarillo, verde y azul, alternándolos durante la observación. En este caso no es necesario valorar el color de los detalles, sino su intensidad según la graduación en la que la intensidad de los continentes cerca del centro del disco se designa con 2 puntos y el fondo oscuro del cielo nocturno con 10 puntos.



Fig. 49. Fotografía de Fobos (foto del «Mariner-9»)

Los detalles de los métodos para observar los planetas y su análisis se exponen en el libro de V. A. Bronshtéin «Planetas y su observación» (Moscú, Naúka, 1979, en ruso) Después de contemplar Marte en el transcurso de varios

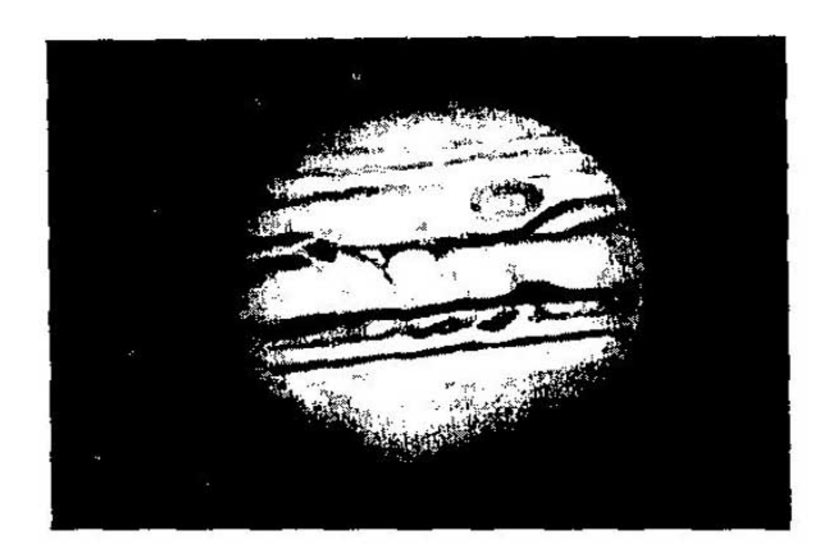


Fig. 50. El planeta Júpiter

meses el lector verá los cambios que se operan en su superficie.

Marte tiene dos satélites naturales, Fobos y Deimos *), descubiertos en 1877 por el astrónomo estadounidense Asaph Hall, pero ellos se ven sólo con los telescopios muy potentes. «Mariner-9» fotografió por primera vez los dos satélites naturales del planeta que resultaron ser dos bloques de piedra de forma irregular de 27 × 21 × 19 km (Fobos) y de 15 × 12 × 8 km (Deimos) de tamaño. La superficie de ambos satélites está cubierta de cráteres de 500 m a 10 km de diámetro, que son resultado de los impactos de meteoros (fig. 49).

Es muy interesante para las observaciones el planeta Júpiter, el mayor de todos por su tamaño y masa en el Sistema solar (fig. 50). Es fácil encontrarlo en la bóveda celeste por su color amarillento y un brillo potente que varía (en dependencia de la configuración del planeta) en los límites de —2,5 a —1,2 magnitud estelar.

A causa de su rápida rotación alrededor de su eje Júpiter está muy comprimido: su diámetro ecuatorial es

*) En la mitología griega Fobos (Miedo) y Deimos (Terror) son compañeros del dios de la guerra Ares (Marte en la mitología romana).

11,2 veces y el polar sólo 10,5 veces mayor que el terrestre. El planeta está rodeado de una extensa atmósfera formada por hidrógeno molecular (87 %) y helio con amoníaco y metano (13 %). Desde la Tierra se ven muchas detalles (fajas y manchas), que cambian sus configuraciones y posición en el disco del planeta. Las más intensas son dos fajas o bandas extendidas a lo largo del ecuador, por lo cual fueron llamadas ecuatoriales. La masa del planeta es 318 veces mayor que la terrestre.

El período de rotación de la zona ecuatorial del planeta es igual a $9^{h}50,5^{min}$, en tanto que sus zonas moderadas giran con un período de $9^{h}55,7^{min}$. Para las observaciones ópticas sólo son accesibles la envoltura nubosa y la atmósfera del planeta cuya temperatura es de unos —130°C. Según muestran las investigaciones modernas, Júpiter carece de superficie sólida, y el estado físico de sus capas externas es gaseoso, el de las medias, líquido, y el interior del planeta, constituido principalmente de hidrógeno y helio, se halla en un estado muy denso, llamado fase metálica. La temperatura de las entrañas profundas del planeta es próxima a los 30 mil grados Kelvin. Júpiter emite 2,7 veces más calor que recibe del Sol. La masa del planeta es 318 veces superior a la de la Tierra. En el planeta se manifiesta bien una formación grande ovalada y estable, designada con el nombre de Mancha Roja que representa un torbellino (tromba) en la atmósfera del planeta y supera dos veces el tamaño de la Tierra. Su intensidad varía constantemente por lo que merece un estudio más escrupuloso.

En 1955 fueron detectados radioimpulsos de Júpiter que son mucho más intensos que los de otros cuerpos celestes, excepto el Sol. Resultó que Júpiter está rodeado de una extensa banda de radiación, es decir, un anillo ancho, formado por partículas elementales eléctricamente cargadas y mantenidas por el campo magnético del planeta (semejante banda también la tiene la Tierra).

La existencia de un fuerte campo magnético y de una potente banda de radiación alrededor del planeta fue confirmada por las mediciones directas desde las estaciones automáticas estadounidenses «Pioner-10» y «Pioner-11», que en diciembre de 1973 y 1974 sucesivamente dieron la vuelta en torno a Júpiter, y además, fue estudiada bastante detalladamente por las estaciones «Voyager-1»

(marzo de 1979) y «Voyager-2» (julio de 1979). La estación «Voyager-1» voló a unos 300 mil km de distancia de Júpiter detectando el anillo que rodea al planeta, de 252 mil km de diámetro externo y tan sólo de cerca de un km de espesor. Está formado de partículas sólidas y a causa de su pequeño espesor no se ve desde la Tierra. La existencia de un anillo en Júpiter había sido predicha ya en 1960 por el astrónomo soviético, profesor S. K. Vsejsviatski (1905—1984).

Las observaciones de Júpiter consisten en hacer bosquejos de los detalles de su superficie y en evaluar su intensidad, sólo que en este caso por intensidad nula debe considerarse la zona ecuatorial brillante cerca del centro del disco del planeta. El fondo oscuro del cielo se aprecia como antes con 10 puntos. En una sola observación los bosquejos de los detalles no deben durar más de 15 minutos, ya que en un intervalo mayor se deja sentir notablemente el corrimiento de los detalles a causa de la rápida rotación del planeta

Teniendo en cuenta la elevada compresión de Júpiter, visible a simple vista, es necesario fabricar de cualquier material fuerte un patrón de forma ovalada de dos diámetros: el mayor de 50 mm y el menor de 47 mm. Con ayuda de este patrón en el papel se traza el disco de Júpiter y en él se dibujan los detalles que se contemplan. El análisis de las observaciones se describe en el mencionado libro de V. A. Bronshten.

Alrededor de Júpiter se mueven 16 satélites, cuatro de los cuales (los más grandes y más brillantes) son visibles con prismáticos de gran potencia y con pequeños telescopios y fueron descubiertos por G. Galilei (1564—1642) en 1610. Estos satelites fueron llamados: I, Io; II, Europa; III, Ganimedes; IV, Calisto. Son globulares y por sus dimensiones Ganimedes es mayor que Mercurio, Calisto, próximo a él, e Io y Europa aproximadamente del mismo tamaño que la Luna. Se mueven casi en el plano ecuatorial del planeta, y en diferentes momentos de tiempo ocupan respecto a él distintas posiciones, llamadas configuraciones, de las que se da información en el Calendario Astronómico de la SAGN. Las fototelegrafías enviadas por «Voyager-1» desde las cercanías de los satélites de Júpiter muestran que en Io actúan los volcanes que lanzan chorros de sustancia a una altura de hasta 200 km,

además, la superficie de Europa está cubierta de gran cantidad de grietas. Desde la Tierra no se ven ni volcanes ni grietas.

Los satélites pasan de manera periódica frente al planeta y tras de él, penetrando en su sombre. Las observaciones de estos fenómenos deben realizarse siempre con un mismo instrumento con amplificación invariable, numéricamente igual al diámetro aproximadamente doble del objetivo del telescopio, expresado en milímetros. Las propias observaciones consisten en registrar los momentos del comienzo y de la terminación de los fenómenos anteriormente mencionados, que deben comprobarse por reloj con una exactitud de hasta ± 10 segundos. Además, es necesario indicar el sistema empleado para contar el tiempo.

El último planeta, accesible para las observaciones con pequeños telescopios, es Saturno, que es interesante debido a que está rodeado de un anillo bien visible desde la Tierra, incluso con un telescopio de pequeña potencia. Este planeta fue descubierto en 1658 por el astrónomo holandés Ch. Huyghens.

El brillo de Saturno siempre es próximo a $+1$ magnitud estelar, aunque a veces aumenta hasta $+0{,}1$ magnitud estelar, pero de todas maneras no supera el brillo de las estrellas potentes. Por eso, para encontrarlo en el firmamento hay que saber bien las estrellas brillantes de las constelaciones zodiacales.

Por su naturaleza Saturno es parecido a Júpiter, gira, al igual que éste, zonalmente: el período de rotación es de $10^{h}14^{min}$, aumentando en dirección a los polos del planeta. La rápida rotación provocó una fuerte compresión del planeta, incluso un poco mayor que en Júpiter. La masa de Saturno es 95 veces mayor que la de la Tierra y el diámetro, 9,6 veces mayor.

En la superficie de Saturno (fig. 51) hay bandas oscuras y otros detalles, pero su intensidad es relativamente pequeña, así que un observador novato no podrá captarlos en seguida. En la atmósfera de Saturno fueron detectados el hidrógeno y el helio, pero ella está carente de amoníaco. La temperatura de la superficie aparente del planeta es muy baja: cerca de — 170 °C.

El anillo de Saturno es de forma geométrica regular y las observaciones con pequeños telescopios muestran que

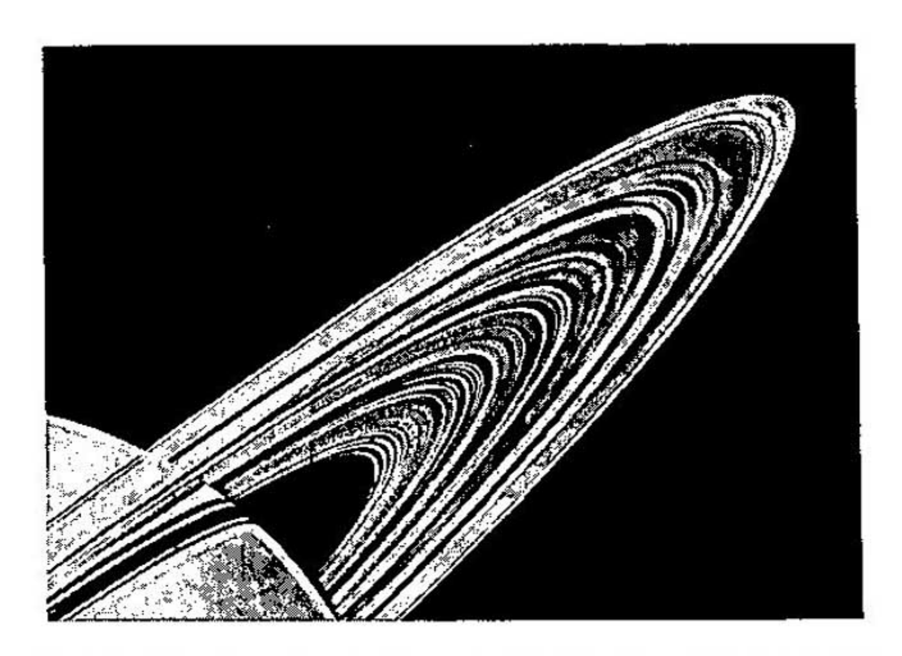


Fig. 52. Estructura fina de los anillos de Saturno (foto del «Voyager-1»)

cerca de 14 horas. Las investigaciones del astrofísico soviético M. S. Bobrov mostraron que las partículas de los anillos son de diferentes tamaños: desde partículas de polvo hasta varios metros en su eje menor. Estos resultados fueron confirmados por las investigaciones realizadas en noviembre de 1980 por la estación automática «Voyager-1» que detectó la fina estructura de los anillos, que resultaron ser más de 100. Además, se supo que están separados por unos intersticios estrechos, invisibles desde la Tierra (fig. 52).

Pese a un diámetro considerable, el espesor de los anillos es muy pequeño: no supera 2 km. Por eso en los años en que los anillos se vuelven de perfil hacia la Tierra, ellos «desaparecen», es decir, simplemente no se ven, sino que proyectan una fina sombra sobre el disco del planeta. Tal «desaparición» de los anillos de Saturno se registró a finales de 1979 y comienzos de 1980, y la siguiente tendrá lugar en 1994.

Las observacones de Saturno son análogas a las de Júpiter, pero si se realizan con telescopios de pequeña

potencia no presentan ningún interés científico. Mucho más útil es realizar un control sistemático de la variación del brillo de los anillos del planeta, en especial de sus partes exteriores ("orejetas"). Cabe evaluar la intensidad de las orejetas comparándola con la zona más brillante en el centro del disco del planeta y el fondo oscuro del cielo.

En torno a Saturno se mueven 17 satélites. El más importante de todos ellos, Titán (sexto por el orden y catorceavo por la distancia al planeta), tiene un brillo de cerca de 8 magnitud estelar y es accesible a la observación al telescopio con un objetivo no inferior a 60 mm en el diámetro. Por sus dimensiones lineales este satélite supera 1,7 veces la Luna y está rodeado de atmósfera que consta de 99 % de nitrógeno y el resto de metano, hidrógeno y oxígeno.

En resumen, señalaremos que no siempre se debe observar el planeta con la máxima amplificación del telescopio, ya que el estado agitado y la baja transparencia de la atmósfera terrestre pueden alterar el aspecto auténtico de los detalles en la superficie del planeta. Por tanto, siempre hay que buscar tal aumento con el que los detalles de los discos planetarios se vean con claridad, porque con frecuencia ocurre que con un pequeño aumento se logra observar mucho más detalles que con uno grande.

11. La Luna

La Luna, el satélite y cuerpo celeste natural más cercano a la Tierra, gira alrededor de ésta por una órbita elíptica con período sidéreo de 27,32 días. Las leyes de Kepler son válidas no sólo para los planetas, sino también para todos los cuerpos, naturales o artificiales, que se mueven en torno a sus cuerpos celestes centrales de masa mayor que la de ellos. Para la Luna el cuerpo central es la Tierra situada en uno de los focos de la órbita elíptica lunar.

La distancia media de la Luna a la Tierra (es decir, el semieje mayor de la órbita lunar) constituye 384 400 km, pero a consecuencia de un considerable alargamiento de la órbita lunar, la distancia real a la Luna oscila entre 356 410 y 406 740 km. El punto más próximo a la Tierra se llama perigeo de la órbita lunar, y el más alejado, apogeo.

Si el curso angular de la Luna (360°) se divide por el período de su rotación (27,32 días), es fácil encontrar la traslación diurna de la Luna en el cielo estelar: será un poco mayor de 13°, o bien, cerca de 0,5° por 1 hora. Por cuanto el diámetro angular aparente del disco lunar equivale aproximadamente a 0,5°, el desplazamiento de la Luna durante una hora se detecta bien incluso a simple vista. Basta con marcar la posición de la Luna en el cielo con referencia a alguna estrella y al cabo de una hora volver a contemplar el cielo para cerciorarse por completo de que la Luna se mueve de oeste a este (en sentido contrario a la aguja del reloj), o sea, en sentido opuesto a la traslación diurna del firmamento. La noche siguiente, a la misma hora, la Luna estará ya mucho más al este que en la víspera y, naturalmente, aparecerá sobre el horizonte más tarde que la noche anterior, por término medio, en 50 minutos. De modo análogo se desplazan los momentos de la culminación y de la puesta de la Luna.

Si la Luna hubiera sido un cuerpo autoluminiscente, como el Sol, ella siempre hubiese tenido el aspecto de un disco brillante. Pero la Luna es un globo opaco y frío, y desde la Tierra se ve sólo aquella parte de su superficie que está iluminada por el Sol y dirigida a la Tierra. Por este motivo, la imagen de la Luna en el cielo varía, originando los cambios de las fases lunares (fig. 53).

El Sol está 390 veces más lejos de la Tierra que la Luna, por lo que podemos considerar que la Luna está iluminada por un haz de rayos solares paralelos. Al pasar entre la Tierra y el Sol (conjunción con el Sol), la Luna expone a la Tierra su hemisferio oscuro, no iluminado, y por la noche no se ve, ya que junto con el Sol se pone tras el horizonte, dando lugar a la fase llamada novilunio o Luna nueva. Parecería lógico que durante esta fase la Luna ocultara al Sol, es decir, se produjera un eclipse de Sol. No obstante, este fenómeno no se da siempre ni mucho menos, por cuanto la órbita lunar está inclinada bajo un ángulo de 5° respecto al plano de la órbita terrestre y por eso durante el novilunio la Luna avanza por la bóveda celeste un poco más alto o más bajo que el Sol. Pero dos veces al año como mínimo, la Luna oculta por poco tiempo parcial o totalmente el disco solar, y entonces tiene lugar el eclipse parcial o total de Sol.

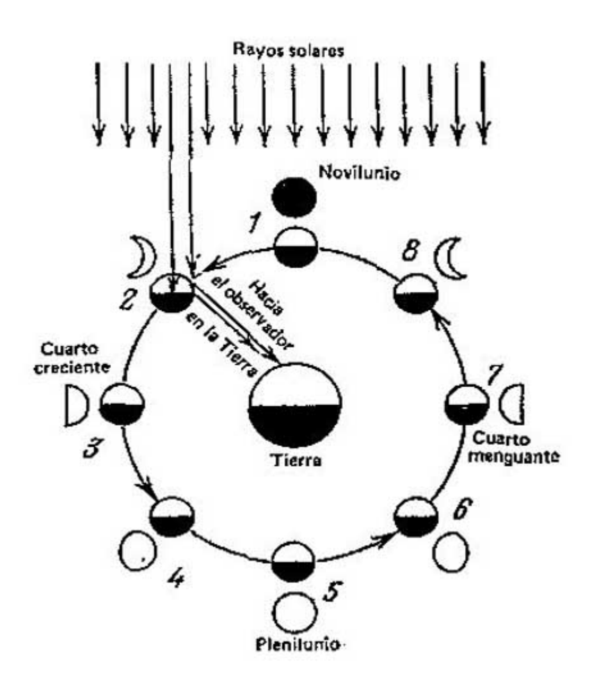


Fig. 53. Cambio de las fases de la Luna

Tras el novilunio la Luna se desplaza el este del Sol y al cabo de dos días desde la Tierra se hace visible la parte iluminada de la superficie lunar en forma de una hoz estrecha (primer octante), cuya convexidad durante la observación desde el hemisferio boreal está dirigida a la derecha, hacia el oeste, donde en este momento se halla el Sol que la ilumina. Cuando el Sol desaparece del horizonte y llega la noche, el primer octante se ve en la parte occidental del firmamento, no muy alto sobre el horizonte, y al pasar dos o tres días se pone también.

Con frecuencia, en la fase del primer octante se ve todo el hemisferio lunar débilmente iluminado y dirigido a la Tierra. Se produce la impresión de que en el octante lunar brillante se ha encajado el hemisferio oscuro del la Luna, de diámetro menor que el octante brillante. Este fenómeno fue denominado luz cenicienta y se debe a que el primer octante es la porción de la Luna iluminada directamente por los rayos solares, mientras que la parte restante de la superficie lunar se ilumina por la luz que la Tierra refleja sobre la Luna, por eso su luminosidad es

notablemente menor que la del octante. En lo que se refiere a la diferencia de diámetros del disco lunar y el octante lunar, es éste un fenómeno aparente, psicofisiológico, llamado irradiación y relacionado con la propiedad de nuestra vista, consistente en que un objeto brillante nos parece a nosotros de mayor tamaño que el oscuro.

Cada día, a medida del corrimiento de la Luna hacia el este del Sol, la porción iluminada de la superficie lunar visible desde la Tierra va aumentando, la fase de la Luna crece de manera gradual. Transcurridos siete días luego del novilunio, la Luna avanzará ya 90° hacia el este del Sol (cuadratura oriental) y desde la Tierra se verá la mitad derecha (occidental) del hemisferio lunar: es la fase del cuarto creciente. Pero cuando, al cabo de 14,5 días luego del novilunio, la Luna dista 18 ° del Sol (oposición de la Luna y el Sol), el hemisferio lunar dirigido a la Tierra estará iluminado completamente por los rayos solares, y desde la Tierra se verá el disco lunar completo; esta fase se llama plenilunio o Luna llena. En esta fase la Luna sale al ponerse el Sol y se pone al salir el Sol, es decir, puede contemplarse durante toda la noche.

Luego del plenilunio la Luna se acerca al Sol desde la la derecha, del oeste, por eso el Sol empieza a iluminar la mitad izquierda del hemisferio lunar. De manera gradual, la fase de la Luna va disminuyendo, empieza el cuarto menguante cuya convexidad está expuesta ahora al oriente, es decir, una vez más hacia el Sol. Cuando la distancia angular entre la Luna y el Sol se reduce a 90° (la Luna dista 90° al oeste del Sol; cuadratura occidental), de nuevo se hace visible la mitad del hemisferio lunar, pero esta vez la mitad izquirda (oriental); esta fase lunar se llama cuarto menguante. Luego de esta fase la Luna pasa al último octante cuya convexidad está dirigida al este y se ve por las mañanas en la parte oriental del cielo, antes de salir el Sol, y después vuelve de nuevo el novilunio.

Las observaciones evidencian que las fases lunares cambian con un período de 29,53 días, llamado mes sinódico o lunación. Según vemos, este período es 2,21 días mayor que el mes sidéreo. La diferencia entre dichos períodos se debe a que la Tierra se mueve en torno al Sol en el mismo sentido que la Luna alrededor de la Tierra. Supongamos que en cierto momento de tiempo tiene lugar el

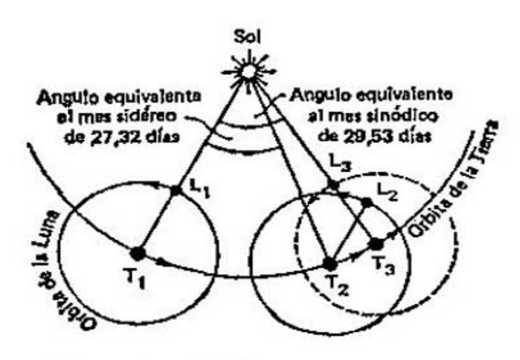


Fig. 54. Meses sidéreo y sinódico

novilunio y la Luna se halla en la posición L_1 (fig. 54), en tanto que la Tierra, en la posición T_1. Al pasar un mes estelar, o sidéreo (27,32 días), la Tierra se desplazará por su órbita, aproximadamente, 27° y ocupará el punto T_2, mientras que la Luna dará una vuelta completa alrededor de la Tierra y ocupará la posición L_2. Pero en este momento no habrá novilunio, ya que la Luna no estará entre el Sol y la Tierra. Para que se produzca el novilunio (es decir, para que transcurra un mes sinódico), la Luna tiene que ocupar la posición L_3, para lo cual necesita otros 2,21 días más, o sea, el mes sinódico resulta ser igual a $27,32 + 2,21 = 29,53$ días.

Las observaciones de la superficie lunar presentan gran interés incluso si se realizan con telescopios de pequeña potencia. El observador puede conocer la orografía lunar, numerosos accidentes y detalles de ésta: mares, cráteres, montañas, cordilleras, intumescencias o domos y picos. Pero hay que tener presente que la Luna carece de atmósfera y agua, y los mares lunares son depresiones y cavidades sin agua en la superficie lunar.

En el campo visual del telescopio, que proporciona la imagen invertida, a la izquierda vemos la zona extremooccidental de la Luna; a la derecha, la extremooriental; arriba, las zonas meridionales, y abajo, las zonas septentrionales del hemisferio lunar expuesto a la Tierra.

En la exploración de la Luna por los vehículos espaciales, su parte derecha se considera oriental, ya que precisamente por ella sale el Sol en el hemisferio aparente de la Luna, en tanto que la zona izquierda es occidental, lo cual ahora se ha puesto en práctica de las observaciones

estrónomicas y se marca con frecuencia en los mapas de los hemisferios lunares, la orientación de los cuales en este caso coincide por completo con la de los mapas de los hemisferios terrestres: arriba está el norte; abajo, el sur; a la izquierda, el oeste, y a la derecha, el este.

Es conveniente comenzar el estudio de la superficie lunar muy pronto después del novilunio, cuando la Luna está en sus fases pequeñas y en su superficie se ven con claridad las sombras de los cráteres, picos y cadenas de montañas. Cerca de la parte occidental de la Luna sobresalen con nitidez el Mar de las Crisis *), de forma ovalada, y más arriba (al sur) de éste, el Mar de la Fecundidad**): sobre su zona noroccidental (según la orientación antigua) se posó el 20 de septiembre de 1970 la estación automática soviética «Luna-16». El mismo día el tomamuestras automático de esta estación recogió a 35 cm de profundidad una muestra del suelo lunar y el 21 de septiembre de la estación se desprendió el vehículo automático que trajo a la Tierra las muestras (24 de septiembre del mismo año). El suelo resultó ser de estructura porosa, su aspecto exterior se parece a la escoria oscura o la tierra negra (pero, naturalmente, sin humus) y contiene los mismos elementos químicos que la roca terrestre: silicio, potasio, magnesio, calcio, hierro y otros.

A la derecha (al este) del Mar de las Crisis se encuentra el Mar de la Tranquilidad, en la parte suroccidental del cual alunizó el 21 de julio de 1969 el módulo lunar «Eagle» («Aguila») que se separó de la nave cósmica estadounidense «Apolo-11» y llevó a la Luna a los primeros terrícolas: N. Armstrong y E. Aldrin (el tercer astronauta, M. Collins, se quedó en la astronave dando vueltas alrededor del satélite). De los cráteres grandes se ven bien Cleomedes (183***), más abajo del Mar de las Crisis), Langren (100, cerca de la parte suroeste del Mar de la Fecundidad), y por encima de él, Vendelin (99), Petavio (80), y Furnerio (52). El igual que el Mar de las Crisis, todos esos cráteres son de forma ovalada a causa de la perspectiva debida a la superficie convexa de la Luna; en rea-

*) También se llama Mar de los Peligros.

**) Mar de la Abundancia es su segundo nombre.

***) Los números se dan según la lista incluida en el capítulo quinto.

lidad, su forma es próxima a la circular, lo cual lo evidencian los cráteres situados en las regiones centrales del disco lunar.

A la derecha y más arriba del Mar de la Fecundidad, se halla el Mar del Néctar limitado al oeste por la cordillera los Pirineos, al sureste, por la de Altái y al este, por la cadena de tres cráteres grandes: Catharina (95), Cirilo (96) y Teófilo (97).

Antes de 1974, al describir la superficie lunar se empleaban los términos «circos», «cráteres», «pequeños cráteres o ranuras». Llámabanse circos las cordilleras anulares con fondos planos, cuyas pendientes interiores son más abruptas que las exteriores. Por pequeños cráteres o ranuras se entendían las depresiones no muy profundas en forma de embudo. Ahora estas diferencias están eliminadas de la terminología y todos los accidentes en forma de cráter, independientemente de su dimensión, profundidad, relieve del fondo u otras singularidades, se denominan cráteres. Con frecuencia los grandes cráteres tienen picos centrales.

Cerca de la fase del cuarto creciente (fig. 55) en la región septentrionar de la superficie lunar, a la derecha y más abajo del Mar de la Tranquilidad, se ve bien el Mar de la Serenidad limitado al oeste por la cordillera Tauro al este por la del Cáucaso que lo separa del Mar de las Lluvias. Durante el cuatro creciente el Mar de las Lluvias se halla en el terminador (línea que separa la porción iluminada visible de la oscura) y su parte occidental está iluminada por el Sol, mientras que la oriental aún está a la sombra y no se ve. En la porción iluminada del Mar de las Lluvias son visibles los cráteres Aristilo (199) y Autólico (189). En el centro del disco lunar, al lado del terminador mismo se encuentran los cráteres Hiparco (119) y Albategnio (109) y arriba, Walter (48). En la parte sur, cerca del terminador se ve el cráter grande Maguín (22).

Ya al día siguiente después del cuarto creciente pueden contemplarse las cordilleras de los Apeninos y los Alpes que limitan el Mar de las Lluvias por el sur y el norte (fig. 56), en tanto que en el propio mar está el cráter Arquímedes (191). El 17 de noviembre de 1970 en la parte norte del Mar de las Lluvias, algo más al sur del Golfo del Arco Iris, alunizó suavemente la estación automática soviética



Fig. 55. Aspecto de la Luna vista al telescopio durante su fase de cuarto creciente

«Luna-17» llevando banderas y gallardetes con la representación del Escudo Estatal de la Unión Soviética y a magen de V. I. Lenin en bajorrelieve. De la etapa de descenso se separó el vehículo autopropulsado «Lunojod-1», el primero en el mundo. Dirigido por control remoto desde la Tierra, durante largo tiempo recorrió la superficie lunar, exploró su relieve y suelo en diversas zonas y por el sistema radiotelevisivo envió a la Tierra valiosos datos de nuesto satélite natural. En particular, resultó que en diversos puntos de la superficie lunar la estructura del

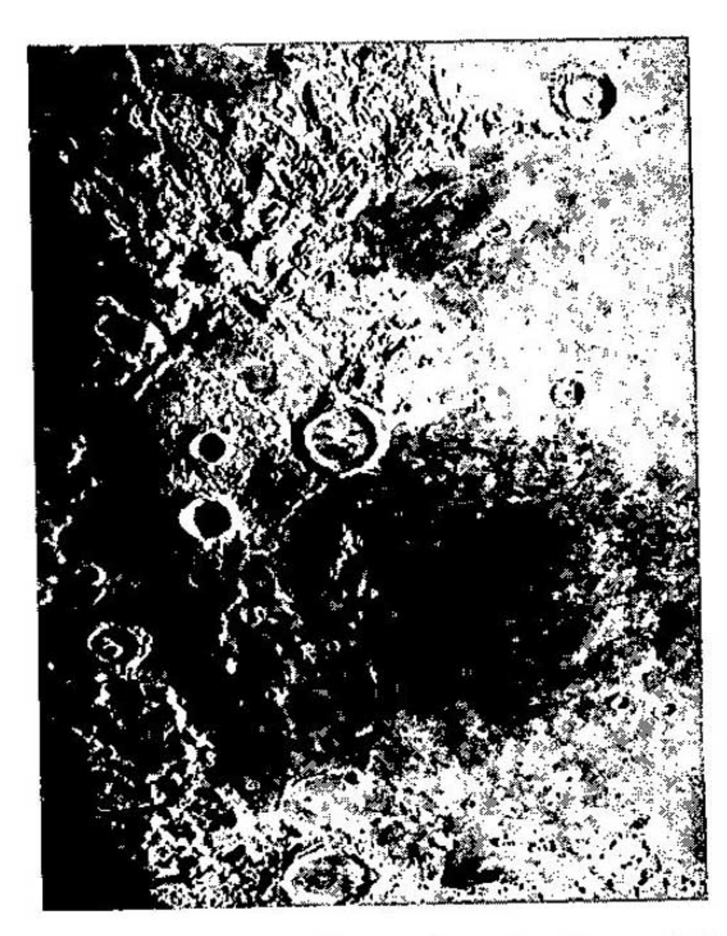


Fig. 56. Mar de las Lluvias, los Apeninos y los Alpes en la Luna

suelo es distinta. En las pendientes de los cráteres pequeños el suelo es poroso, parecido a la arena volcánica terrestre, y en él se atascaban las ruedas del «Lunojod-1». Fuera de los cráteres, en los lugares más o menos planos el suelo es bastante sólido y el «Lunojod-1» podía avanzar con mayor velocidad. Desde el 17 de enero de 1973, durante varios días realizó minuciosas exploraciones de la superficie lunar el segundo vehículo autopropulsado soviético «Lunojod-2».

Luego de la fase del cuarto creciente, en las zonas céntricas de la superficie lunar se hace visible una pequeña

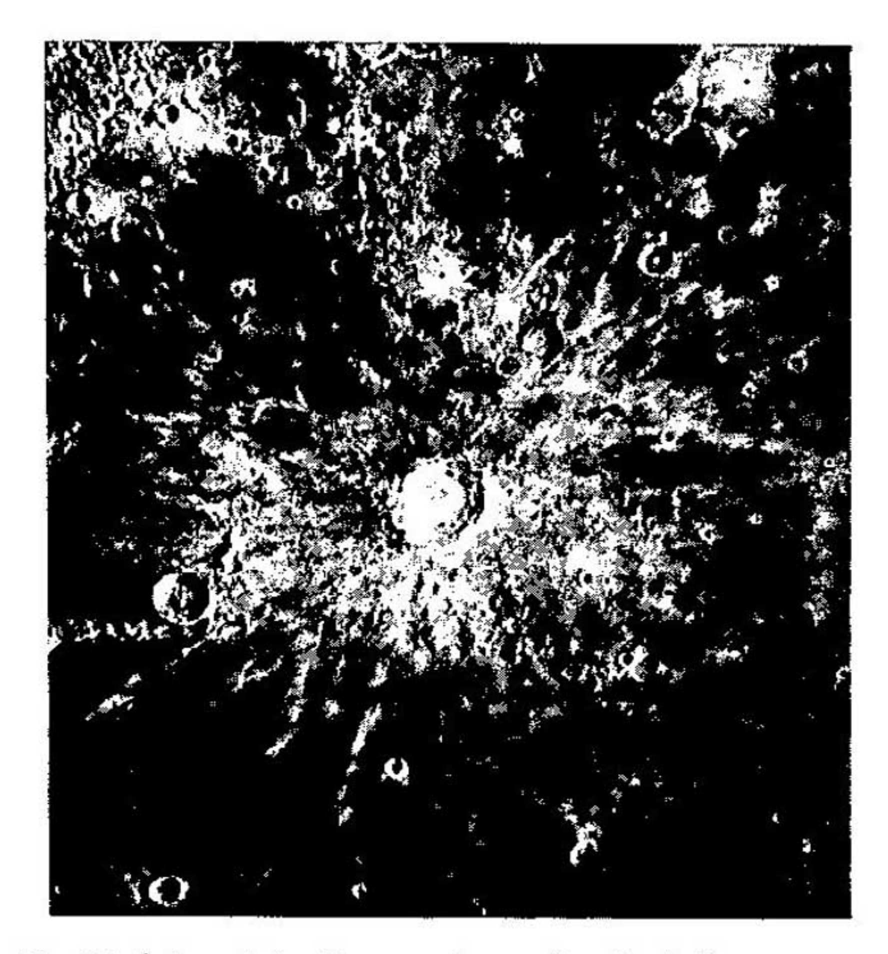


Fig. 57. Óceano de las Tempestades y cráter Copérnico

cadena de grandes cráteres: Ptolomeo (111), Alfonso (110) y Arzachel (84), y en la parte sur, el hermoso cráter Tycho (30), del cual en todas las direcciones salen los rayos claros. Un sistema análogo de rayos claros salen del cráter Copérnico (147), situado en la parte sur del Océano de las Tempestades, un extenso valle en la región oriental de la superficie lunar (fig. 57). En este valle, en la región de los cráteres Reyner (145) y Mario (171), el 3 de febrero de 1966 alunizó la estación interplanetaria automática soviética «Luna-9», que realizó por primera vez en el mundo el alunizaje suave en la superficie lunar. Un poco más al

norte, en dirección hacia el cráter Herodoto (175), el 24 de diciembre de 1966 alunizó suavemente la segunda estación análoga «Luna-13», en tanto que en la región central del Oceano de las Tempestades, no lejos del cráter Landsberg, el 19 de noviembre de 1969 alunizó el módulo de descenso, separado de la astronave «Apolo-12» y tripulado por Charles Conrad y Alan Bean. Esas zonas se hacen visibles sólo en la fase próxima al plenilunio.

Durante el plenilunio la Luna debe contemplarse a través del filtro de luz ahumado de tal densidad que la luz lunar no ciegue la vista. Entonces, podrán verse los rayos, accidentes y grietas en la superficie lunar, pero el cuadro general será de poco relieve por falta, prácticamente, de sombra.

Recomendamos que el lector primero estudie, con ayuda del mapa que adjuntamos, los principales detalles grandes de la superficie lunar y luego empiece las observaciones sistemáticas de algunos de ellos utilizando filtros de color. A quienes se interesen por las observaciones de la Luna, les aconsejamos leer libros de V.V. Shevchenko «La Luna y su observación» (Moscú, Naúka, 1983, en ruso) y de F. Yu. Zíguel «Los tesoros del firmamento» (Moscú, Editorial Mir, 1967, 1971, 1973 en español) en los cuales se explican los métodos de observaciones de nuestro satélite natural.

Al contemplar la superficie lunar, podemos advertir que la Luna siempre expone a la Tierra uno de sus hemisferios, mientras que el otro siempre queda invisible. Podría pensarse que la Luna no gira alrededor de su eje, pero tal conclusión es errónea. Si la Luna no se moviera en torno a su eje, en el transcurso del año podríamos ver sucesivamente todas las regiones del globo lunar. Pero el hecho consiste en que el período de rotación de la Nuna alrededor de su eje coincide con el período sidéreo de su traslación en torno a la Tierra. Esto significa que al girar en cierto ángulo alrededor de la Tierra, la Luna gira en el mismo ángulo y en el mismo sentido alrededor de su eje, y como resultado, sigue exponiendo a la Tierra un solo hemisferio suyo.

Desde octubre de 1959 se hizo posible estudiar el hemisferio invisible o, como suelen decir, el reverso de la Luna. Por primera vez en el mundo las fotografías del hemisferio no visible de la Luna fueron obtenidas el 7

de octubre de 1959, cuando la estación automática soviética «Luna-3» dio una vuelta en torno a la Luna. Fotografías de mayor calidad fueron obtenidas el 20 de julio de 1965 y el 11 de agosto de 1969 por las estaciones automáticas interplanetarias soviéticas «Zond-3» y «Zond-7».

La estructura general de la carta oculta (invisible) de la Luna es similar a la del hemisferio visible, con la particularidad de que en seguida salta a la vista la ausencia de vastos mares que ocupan menos del 10 % de este hemisferio, en tanto que en la cara visible a los mares les corresponde el 40 % de la superficie. En cambio, en la cara oculta fueron descubiertos objetos nuevos por su estructura, denominados talassoides: son extensas depresiones, hasta de 500 km en su eje menor, pero carentes de color oscuro y fondo liso, propios los mares lunares en la cara visible.

Los accidentes más grandes del reverso de la Luna fueron llamados: Mar de Moscú, con el Golfo de los Astronautas, Mar del Sueño, los cráteres Tsiolkovski, Lomónosov, Eddington, Mendeléiev, Sharónov y otros. Seis cráteres en las cercanías del Mar de Moscú llevan los nombres de los cosmonautas soviéticos A. A. Leónov, A. G. Nikoláev, V. V. Tereshkova, G. S. Titov, K. P. Feoktístov y V. A. Shatálov.

La Luna tiene un diámetro lineal de 3476 km, por el cual los observadores pueden determinar las dimensiones aproximadas de los accidentes que se contemplan. En lo que a la masa de nuestro satélite natural se refiere, ella está establecida con toda seguridad de acuerdo con la tercera ley de Kepler, por la rotación en torno a la Luna de sus tres satélites artificiales soviéticos «Luna—10», «Luna—11» y «Luna—12», puestos consecutivamente en órbita el 4 de abril, el 28 de agosto y el 25 octubre de 1966: la masa de la Luna resultó ser 81,3 veces menor que la terrestre. De este modo, la técnica actual permite a los astrónomos obtener con un grado de precisión bastante alto tales datos sobre los cuerpos celestes, los cuales sin esa técnica serían inseguros o desconocidos por completo.

Durante su movimiento alrededor de la Tierra la Luna periódicamente eclipsa a las estrellas, y en ocasiones a los planetas, situados a lo largo de su curso aparente en el cielo. Tales fenómenos se llaman ocultaciones o eclipses de estrellas y planetas por la Luna, y las observaciones de

los mismos no sólo son interesantes sino también útiles para la astronomía. Las ocultaciones de estrellas y planetas se contemplan de la mejor manera con ayuda de prismáticos o telescopios de pequeña potencia, con una amplificación de 30 veces, para que dentro del campo visual del instrumento se vea toda la Luna en su fase correspondiente. Además, los eclipses de planetas brillantes o estrellas relativamente potentes, hasta de 3^m, pueden observarse incluso a simple vista. Los momentos de los próximos eclipses se publican en el Calendario Astronómico de la SAGN del año correspondiente. Pero hay que tener en cuenta que dichos momentos se indican según la hora mundial y para establecer la hora local es necesario añadir a los momentos publicados en la época de otoño e invierno tres horas más y la diferencia entre la hora local y la de Moscú, y en el período de primavera y verano se suma una hora más.

Hay que empezar las observaciones 10 minutos antes del momento calculado. Los propios fenómenos de la ocultación de estrellas (planetas) detrás del disco lunar y la aparición de las mismas deben registrarse según el reloj comprobado con la exctatitud máxima posible. Es necesario tener presente que la Luna, trasladándose sobre el fondo de las estrellas de oeste a este, eclipsa las estrellas con su extremo izquierdo, mientras que ellas aparecen por su borde derecho. Pero durante las fases hasta el plenilunio el Sol no ilumina la parte izquierda de la Luna, en virtud de lo cual no se ve, así que las estrellas desaparecen antes de que se les acerque la porción iluminada de la Luna, por lo cual puede parecer un eclipse repentino. Después del plenilunio la Luna oculta con su parte izquierda iluminada las estrellas, que luego aparecen detrás de la parte derecha invisible y oscura de la Luna y dada una observación poco atenta, hay riesgo de perder el momento de la aparición de las estrellas.

Una vez adquiridos los suficientes hábitos es útil realizar las observaciones sistemáticas de las ocultaciones de estrellas por la Luna y comunicar sus resultados al observatorio astronómico de la Universidad Estatal de Kíev, cuya dirección es la siguiente: 252053, Kíev, ul. Observatórnaia, d. 3.

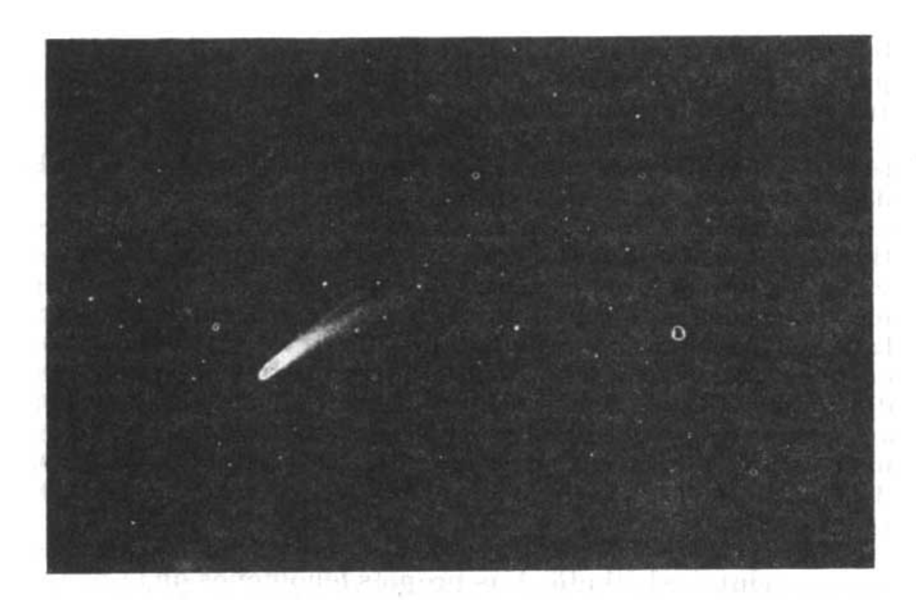


Fig. 58. El cometa Benneth el 4 de abril de 1970 (foto tomada por A. I. Shapoválova e I. R. Beitrishvili, Universidad Estatal de Kíev)

12. Los cometas

De vez en cuando en el cielo estelar aparecen cometas, que (fig. 58) tienen forma de una pequeña mancha nebulosa con una o varias colas luminiscentes. En el interior de la mancha nebulosa, denominada cabeza del cometa, en ocasiones se ve el núcleo relativamente brillante, parecido a un astro. En realidad, el núcleo del cometa es un aglomerado voluminoso de gases congelados, que en sus entrañas contiene también partículas sólidas de las más diversas dimensiones: desde polvo fino hasta masas rocosas grandes.

En los diferentes cometas son distintas también las dimensiones del núcleo, cabeza y cola. Los diámetros de los núcleos de los cometas miden varios kilómetros, en tanto que las dimensiones de la cabeza de los cometas débiles pueden alcanzar 25 mil kilómetros y las de los cometas brillantes, hasta de 2 millones de km, y las colas se extienden a cientos de miles y millones de kilómetros, e incluso a 300 millones de km en los cometas muy brillantes. Pese a las enormes dimensiones, la masa de los

cometas es insignificantemente pequeña (decenas y miles de millones de veces menor que la de la Tierra) y la densidad de las colas es tan ínfima que a través de ella se ven las estrellas débiles.

Los cometas se observan sólo en las cercanías del Sol. La mayoría de los cometas observados pertenece al Sistema solar y giran en torno al Sol por órbitas muy alargadas, pero existen cometas que después de haber pasado a ingente velocidad de varios cientos de kilómetros por segundo cerca del Sol, salen al espacio interestelar abandonando para siempre el Sistema solar.

El movimiento de los cometas queda desapercibido a simple vista y ellos parecen inmóviles en la bóveda celeste, pero si se registra diariamente su posición respecto a las estrellas, empleando para ello mapas estelares, es fácil detectar dicho movimiento.

Los cometas pertenecientes al Sistema solar, de vez en cuando (con períodos que oscilan entre 3,3 años y decenas de miles de años) pasan cerca del Sol, por lo que se llaman periódicos. Lejos del Sol el cometa está débilmente iluminado por los rayos solares, no tiene cola y es inaccesible para las observaciones. Pero, a medida que se acerca al Sol aumenta su brillo, los gases congelados del núcleo, luego de ser calentados por los rayos solares, se evaporan envolviendo el núcleo con una capa de gas y polvo la cual forma la cabeza del cometa. Por la acción de la presión de la luz de los rayos solares y partículas elementales lanzadas por el Sol, el gas y el polvo se desprenden de la cabeza del cometa formando su cola constantemente dirigida en sentido opuesto al Sol, y que en dependencia de la naturaleza de las partículas que la integran puede tener diversa configuración: desde una recta casi ideal (la cola está compuesta por moléculas de gas ionizado) hasta una muy encorvada (cola formada por partículas de polvo pesadas). A veces, en ciertos cometas se observan pequeñas colas anómalas dirigidas al Sol.

Cuanto más se acerca el cometa al Sol, tanto más se calienta su núcleo y crece la presión y la iluminación general del cometa por el Sol. Por esta razón, aumentan el brillo del cometa y las dimensiones de su cola. Al alejarse del Sol el brillo del cometa disminuye, también se reduce su cola para desaparecer por completo.

Cuanto mayor es la frecuencia de acercamiento del

cometa al Sol, tanto más rápidamente pierde éste su sustancia. Por eso los cometas periódicos que no se alejan del Sol a largas distancias (por ejemplo, hasta la órbita de Júpiter o de Saturno) y se aproximan frecuentemente a él (cometas de corto período), no pueden ser muy luminosos; ellos no se ven a simple vista sino al telescopio, pero en la mayoría de los casos se registran en las fotografías del cielo estelar. Y, por el contrario, los cometas de períodos largos de rotación alrededor del Sol suelen ser muy brillantes cerca del Sol y se ven a simple vista.

Por lo general, a los cometas se les atribuyen los nombres de sus descubridores. En los últimos 30 años fueron descubiertos muchos cometas brillantes: en 1957, el cometa Arend—Roland (0^m) y Mrkos (1^m); en 1959, Olkok; en 1960; Barnhem; en 1965, Ikeyi—Seki; en 1970, Bennet; en 1982, Ostin; en 1983, IRAS*—Araki—Olkok, y otros.

Uno de los cometas brillantes se llama Halley, en honor al relevante astrónomo inglés, quien en 1705 estableció la periodicidad de sus apariciones. Retorna hacia el Sol cada 76 años. La penúltima vez fue visto en 1909—1910 y tenía un aspecto muy brillante (hasta de $0,6^m$), con una suntuosa cola que se extendía por la esfera celeste hasta 27°, y en el espacio, a 30 millones de km. Pero cuando la última vez (a finales de 1985 y comienzos de 1986) apareció cerca del Sol ya era mucho más débil y para los habitantes de la zona moderada del hemisferio boreal de la Tierra pasó inadvertida. Tan sólo a finales de febrero de 1986, cuando el cometa ya estaba en el hemisferio celeste austral, su brillo aparente alcanzó 3^m y luego empezó a extinguirse con rapidez.

La causa de una diferencia tan grande en la visibilidad del cometa Halley en 1909—1910 y en 1985—1986 consiste en que eran distintas las posiciones que ocupaba respecto a la Tierra. En ambos casos el cometa se acercó a 0,587 U.A. (87,8 millones de km de distancia al Sol). En el primer caso dicho acercamiento tuvo lugar el 20 de abril de 1910 y el cometa se veía aproximadamente a 30° al oeste del Sol, luego pasó entre él y la Tierra, ade-

*) IRAS, nombre abreviado del satélite artificial astrónomico de la Tierra que explora los cuerpos celestes en la banda infrarroja del espectro.

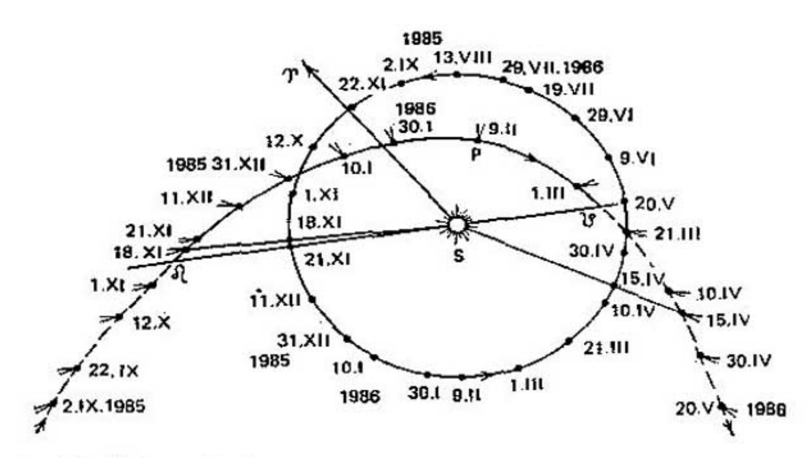


Fig. 59. Órbita de la Tierra (puntos) y segmento de la órbita del cometa Halley (puntos con «colitas») cerca del Sol (S) en 1985—1986. Las fechas indican las posiciones de los dos cuerpos en sus órbitas: *P* es el perihelio del cometa

más hacia el 19 de mayo del mismo año la distancia a la Tierra se redujo al valor mínimo de 23,0 millones de km. La última vez, el cometa se aproximó al Sol el 9 de febrero de 1986, a unos 180° de la Tierra, es decir, se hallaba tras el Sol, y la máxima aproximación a la Tierra se produjo el 11 de abril de 1986 a 62,1 millones de km de distancia, cuando el cometa ya distaba casi 200 millones de km del Sol (fig. 59). Por este motivo, su brillo aparente no superaba 4^m.

Sin embargo, los astrónomos realizaron observaciones fotográficas del cometa Halley con ayuda de telescopios de gran potencia instalados en sus observatorios. Una de las fotografías del cometa obtenida en el Observatorio Astrofísico de Abastumani de la Academia de Ciencias de las RSS de Georgia, se ofrece en la fig. 60. En ella se ve con claridad una ruptura en la cola, resultado de una explosión producida en el cometa. La longitud de la cola alcanzaba 13 millones de km, y el diámetro de la cabeza del cometa superaba 550 mil km.

Con el objeto de hacer un estudio minucioso del núcleo del cometa hacia él fueron envidas dos grandes estaciones automáticas soviéticas «Vega-1» y «Vega-2», una europea, «Giotto», y dos pequeñas estaciones japonesas «Suisei» («Cometa») y «Sakigake» («Pionero»). Los nombres de

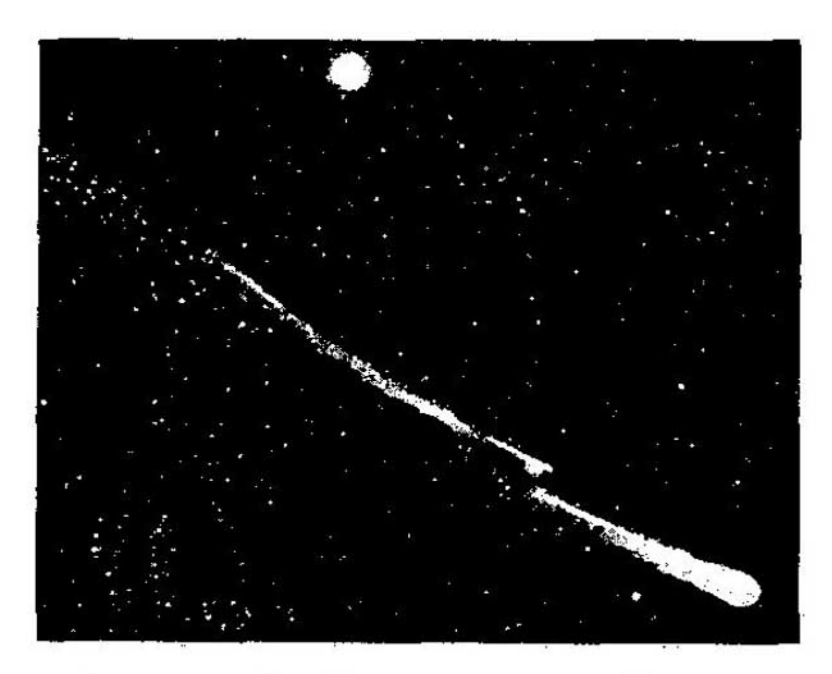


Fig. 60. Cometa Halley el 10 de enero de 1986 (foto tomada por G. Kimeridze, Observatorio Astrofísico de Abastumani adjunto a la AC de la RSS de Georgia)

«Vega» se deben a que ambas estaciones soviéticas estaban destinadas para el vuelo hacia Venus, y luego del acercamiento a éste, hacia el cometa Halley, lo cual fue realizado a la perfección. Las dos estaciones iban provistas de distintos aparatos científicos fabricados por los científicos soviéticos y extranjeros, lo que es un magnífico ejemplo de cooperación internacional.

La estación «Vega-1» despegó de la Tierra el 15 de diciembre de 1984 y «Vega-2», el 21 de diciembre del mismo año. En junio de 1985 ambas estaciones pasaron cerca de Venus lanzando a su atmósfera y superficie aparatos de medición y continuaron su vuelo hacia el cometa Halley. Al atravesar la cabeza del cometa compuesta de gas y polvo, las estaciones se aproximaron a su núcleo: el 6 de marzo de 1986 «Vega-1» hasta una distancia de 8900 km y el 9 de marzo del mismo año «Vega-2», hasta una distancia de 8000 km. Por primera vez en el mundo las estaciones transmitieron a la Tierra las fotografías del núcleo y datos

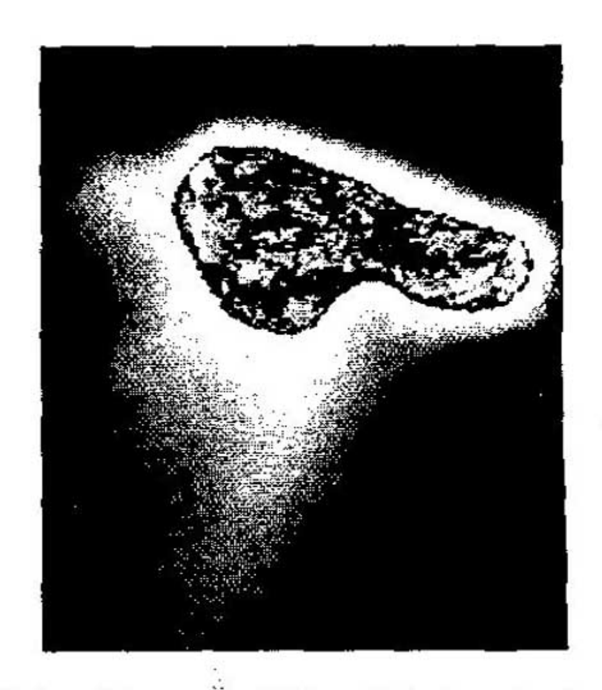


Fig. 61. Núcleo del cometa Halley (foto tomada por «Vega-2»)

sobre su estructura y sobre la composición de la sustancia lanzada por él. Resultó ser que el núcleo del cometa es un bloque monolítico de forma irregular de 14 por 7 km de tamaño (fig. 61). El núcleo gira con un período de 53 horas. De él se desprende una cantidad enorme de vapor de agua con pequeñas adiciones de gas carbónico, hidrógeno, carbono, oxígeno, cianógeno y de diminutas partículas sólidas de sodio, potasio, magnesio, hierro y silicatos. Así pues, los análisis enviados desde las estaciones automáticas han mostrado que el núcleo del cometa está compuesto principalmente por el hielo de agua ordinaria, cubierto por una capa de sustancia oscura de cerca de 1 cm de grosor con inclusiones de diferentes gases congelados y finas partículas sólidas. Suscitan admiración los logros de la ciencia y la técnica soviéticas que permitieron no sólo calcular con alta precisión y asegurar el vuelo de las dos estaciones en el Universo, sino también recibir con fiabilidad la información científica enviada por ellas desde unos 170 millones de km de distancia, que las separaba de

la Tierra durante su acercamiento al núcleo del cometa Halley.

Muchos cometas brillantes fueron descubiertos por los aficionados a la astronomía y llevan sus nombres. Por ejemplo, el cometa descubierto el 31 de julio de 1980 por los estudiantes de la Universidad de Vilnius, K. Chernis e I. Petrauskas, recibió el nombre oficial de cometa Chernis—Petrauskas. Es de utilidad en busca de cometas escudriñar sistemáticamente el cielo con prismáticos potentes o con telescopio de pequeña amplificación (no superior a 40 veces). Pero, ante todo es necesario, utilizando el pequeño atlas estelar de A. A. Mijáilov, estudiar bien la bóveda celeste y la posición de las nebulosas brillantes, para no equivocarse tomándolas por cometas.

Durante la búsqueda de los cometas hay que contemplar atentamente con instrumentos ópticos por las tardes (luego de ponerse el Sol) las partes occidentales del cielo, y en las horas antes del amanecer, sus partes orientales, ya que los cometas se hacen más luminosas en la proximidad al Sol. Por supuesto, no debe esperarse que el cometa se detecte obligotoriamente, pero si el observador tiene suerte, en primer lugar hay que determinar por el mapa celeste sus coordenadas (ascensión recta y declinación) y la designación de las estrellas más notables y próximas al cometa, anotar la fecha y la hora del descubrimiento e informar de ello enviando un cable al Instituto Astronómico Estatal P. K. Shternberg (véase la pág. 95). Luego deben continuarse las observaciones del cometa para determinar sus características físicas: brillo, longitud y forma de la cola, sus particularidades, etc.

Las características físicas deben determinarse para todos los cometas accesibles a las observaciones, independientemente de la prioridad de su descubrimiento. La longitud aparente de la cola del cometa se mide en grados y puede ser calculada según las distancias angulares conocidas entre las estrellas, lo cual a su vez es fácil de determinar mediante la escala del mapa celeste. La forma de la cola se describe a partir de la siguiente escala: 0 es la cola recta; I, un poco desviada; II, notablemente encorvada; III, bruscamente flexionada; IV, está dirigida al Sol.

Si se ve el núcleo del cometa, su brillo se valora de modo análogo a como se hace para las estrellas variables,

comparando con las estrellas cuyas magnitudes son conocidas.

Los cometas brillantes pueden ser fotografiados exitosamente en una película altamente sensible, con una exposición no superior a 20 segundos, en caso contrario, la imagen del cometa resultará vaga a causa de la rotación diaria del cielo. Pero si existe la posibilidad de montar la cámara fotográfica en un trípode y girarla a velocidad angular igual a la de la bóveda celeste, la exposición podrá ser aumentada notablemente.

13. Estrellas fugaces y piedras celestes

Seguramente, el lector más de una vez advirtió las explosiones que surgen de modo repentino en el firmamento; un punto luminiscente pasa como un relámpago dejando un trazo en el cielo y desaparece unos instantes después. Antes, tales fenómenos se llamaban estrellas fugaces, aunque no tienen nada que ver con las estrellas. Simplemente del espacio cósmico penetran en la atmósfera terrestre a gran velocidad diminutas partículas de sustancia; por efecto del roce en su camino con las capas de aire más densas, ellas se calientan, explotan y dispersan. Ahora tales explosiones se denomian meteoros, porque se producen en la atmósfera terrestre (meteoro en griego significa «que planea en el aire»).

En el espacio interplanetario se mueven ingentes cantidades de pequeños cuerpos, designados con el monbre común de «cuerpos meteóricos», cuyas dimensiones pueden oscilar desde ínfimos granos de polvo hasta fragmentos de decenas de metros de diámetro. Cuanto más pequeños son los cuerpos meteóricos tanto mayor cantidad de ellos hay en el espacio interplanetario; los cuerpos meteóricos de grandes dimensiones son relativamente raros, en tanto que el polvo cósmico, hablando metafóricamente, es una inmensa nube en la que se mueven los planetas del Sistema solar. Sin embargo, esta nube no debe imaginarse continua, como, digamos, una nube de gotas menudas de agua que flotan en la atmósfera terrestre. Numerosas observaciones de los meteoros han mostrado que la densidad del polvo cósmico en el espacio interplanetario es insignificantemente pequeña y a una distancia de dos radios terrestres de la Tierra, constituye aproximadamente dos

partículas en 1 km^3 de volumen. Esto significa que las partículas de polvo cósmico se mueven por término medio a 700...800 m de distancia una de otra. La atmósfera terrestre representa una singular coraza que protege laTierra contra el polvo cósmico, el cual se retiene en las capas superiores de la atmósfera a una altura de 80 a 200 km.

La masa de la mayor parte de partículas es muy pequeña: de décimas o centésimas de gramo, y sólo una cantidad insignificante alcanza varios gramos. No obstante, entre los cuerpos meteóricos, de grandes dimensiones que se mueven en el espacio interplanetario también se encuentran algunos de masas mucho mayores: de kilogramos, toneladas e incluso millones de toneladas.

Al igual que los planetas, los cuerpos meteóricos se trasladan en torno al Sol y al encontrarse en su camino con la Tierra caen sobre ella. Cabe señalar que no todos los cuerpos meteóricos que se adentran en la atmósfera terrestre generan fenómenos de meteoros. La mayor parte de los pequeños cuerpos meteóricos se mueven respecto a la Tierra a bajas velocidades (10... 15 km/s), no se someten a un brusco frenado en la atmósfera terrestre, en virtud de lo cual quedan suspendidos en ella o se depositan lentamente en la superficie terrestre. En todo caso, la energía de su movimiento es insuficiente para una explosión. Pero cuando una partícula penetra en la atmósfera a una velocidad de 30...40 km/s y más, se vuelve incandescente con rapidez, explota y genera un meteoro. Cuanto más grandes son la masa y la velocidad de la partícula meteórica, tanto más brillante es la explosión meteórica. Esto explica por qué los meteoros no surgen a menudo, sino que por término medio 5...6 veces por hora en distintos sectores del cielo. Tales meteoros sueltos se llaman esporádicos.

Hay que tener presente que el número efectivo de meteoros es mayor que el observado no sólo porque los meteoros débiles o telescópicos no se ven a simple vista, sino además porque la atmósfera terrestre absorbe en gran medida la luz, y hasta un meteoro brillante, que explota no muy alto sobre la línea del horizonte, puede quedar desapercibido por el observador.

Al rayar el alba el número de meteoros aumenta. Ello se debe a que la parte matutina de la superficie terrestre siempre está dirigida en sentido opuesto al movimiento

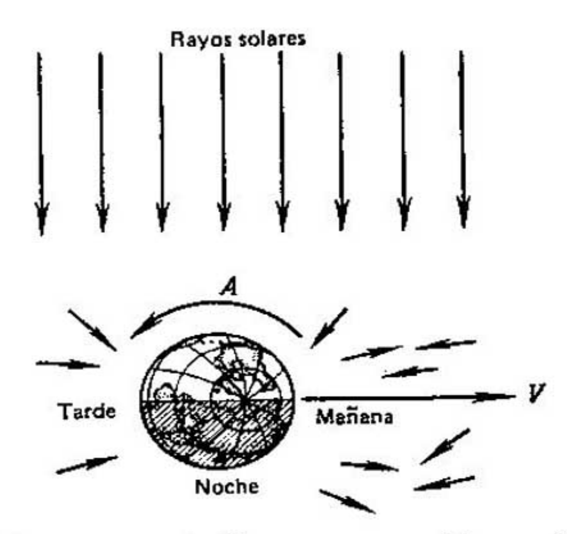


Fig. 62. Meteoros encontradizos y perseguidores. Flechas mayores: *A*, dirección de la rotación de la Tierra; *V*, dirección de la velocidad de la Tierra; Flechas menores: direcciones del vuelo de las partículas meteóricas

de la Tierra (fig. 62), en virtud de lo cual en esta parte pueden penetrar las partículas meteóricas que se mueven en todas las direcciones, en tanto que en la parte vespertina de la superficie terrestre caen únicamente las partículas que alcanzan a la Tierra.

Además de los cuerpos meteóricos aislados, alrededor del Sol se mueven enjambres enteros de los mismos, llamados flujos (corrientes) meteóricos. Muchos de ellos son engendrados por los cometas que se destruyen o ya están destruidos. Los flujos meteóricos pueden tener variada estructura. Unos son bastante compactos, es decir, el enjambre principal de las partículas meteóricas tiene un ancho de decenas de miles de kilómetros. Otros flujos (por lo general, viejos), al contrario, se extienden casi a lo largo de toda su órbita, mientras que su anchura alcanza decenas de millones de kilómetros.

Cada flujo meteórico gira en torno al Sol con un período constante, por eso muchos de ellos se colisionan con la Tierra en determinados días del año (fig. 63). En los días de colisión de la Tierra con los flujos meteóricos crece vertiginosamente la cantidad de meteoros, dando lugar a las lluvias de estrellas fugaces o meteóricas cuando el enjam-

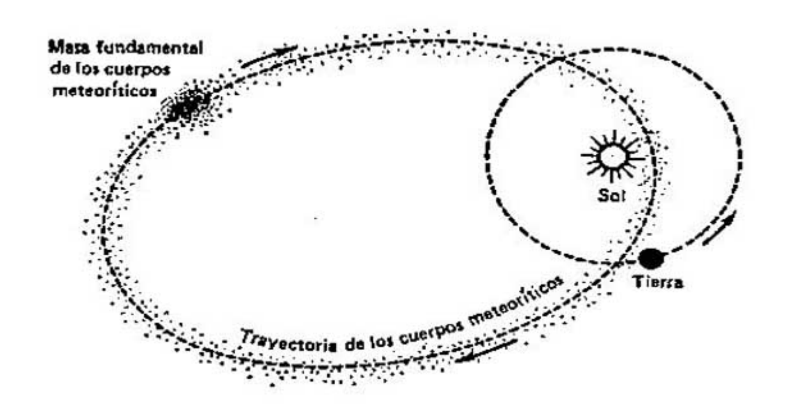


Fig. 63. Colisión de la Tierra con una corriente meteórica

bre de los meteoros es compacto. Internándose en la atmósfera terrestre las partículas del enjambre meteórico vuelan siguiendo trayectorias aproximadamente paralelas, pero a causa de la perspectiva, nos parece que los meteoros salen de una determinada región restringida del cielo, denominada área de radiación. Si se prolongan las trayectorias de vuelo de los meteoros hasta su intersección mutua, ellas se intersecarán dentro de los límites del área de radiación, cerca del punto llamado radiante del flujo meteórico.

Las corrientes meteóricas reciben los nombres de las constelaciones en las cuales se encuentran sus radiantes. Así, la corriente meteórica originada por el cometa Halley y que actúa en la segunda mitad de octubre, se llama Orionidas, por cuanto el radiante de dicha corriente se halla en la constelación de Orión; la corriente meteórica de agosto con su radiante en la constelación de Perseo se llama Perseidas, etc. Esos flujos están notablemente extendidos por sus órbitas, pero en 1980 la Tierra chocó con el principal enjambre de Perseidas, que provocó una lluvia de estrellas.

Largo tiempo no se manifestó la corriente meteórica de Leonidas (su radiante está en la constelación del León), pero en 1965 la actividad de su corriente aumentó y el 17 de noviembre de 1966 dio lugar a una espléndida lluvia de meteoros cuyo número alcanzaba 70 000 por hora. Una abundante lluvia de meteoros de las Dracónidas se

registró la noche del 8 de octubre de 1985 en el Extremo Oriente y Japón.

La relación de radiantes de las corrientes meteóricas más abundantes se ofrece en el capítulo quinto.

En el presente, las observaciones de meteoros se efectúan por diversos métodos: visuales (a simple vista y con prismáticos), fotográficos, fotoeléctricos y por radares. Detengámonos sólo en los métodos visuales accesibles para los aficionados principiantes en la astronomía.

Las más sencillas son las observaciones visuales de la cantidad de meteoros. El observador examina determinada zona de la esfera celeste y calcula por separado el número de meteoros brillantes y débiles que explotan y se apagan en dicha zona en intervalos iguales de tiempo (20, 30 minutos, 1 hora), registrando por reloj el momento del comienzo y la terminación de las observaciones. Es muy útil limitar la zona que se contempla mediante un cuadro circular o rectagular de 1 × 1 m de dimensión, instalado a unos 2,5...3 metros de distancia de la vista del observador. El meteoro que explotó y se extinguió en la zona de observaciones se designa con los signos +, +, respectivamente; la explosión en la zona y la extinción fuera de ella, con los signos + y —; la explosión fuera de la zona y la extinción dentro de la misma, con los signos —, +; si el meteoro voló a través de la zona de observación, pero explotó y se extinguió fuera de ella, se registra con los signos —, —. De este modo pueden obtenerse datos sobre la cantidad de meteoros brillantes y débiles.

Si el observador ha estudiado bien la escala de magnitudes estelares y sabe valorar con seguridad el brillo de los meteoros en magnitudes estelares, entonces las observaciones deben complicarse registrando el brillo de cada meteoro. Si el observador tiene un asistente (secretario), le dicta a éste toda la información que debe registrar junto con la indicación de los momentos de tiempo según la hora exacta.

De haber tomado el programa completo de observaciones, a las características mencionadas deben añadirse también el color del meteoro, la duración de su vuelo en décimas de segundo y la dirección del vuelo en el cielo estelar. A fin de poder determinar la duración del vuelo de los meteoros, es necesario adquirir el sentido de tiempo,

para lo cual se recomienda repetir sistemáticamente y muy de prisa «uno, dos, tres, cuatro», tratando de no rebasar el intervalo de tiempo de 1 segundo. La experiencia muestra que es fácil lograrlo, y el observador podrá determinar la duración del vuelo de los meteoros con una precisión de hasta 0,2 segundos.

El color del meteoro se valora o bien con palabras (en este caso se anotan las iniciales de las palabras), o bien con la escala convencional de Osthof:

Color	Puntos	Color	Puntos
blanco-azul	—2	amarillo puro	4
blanco azulado	—1	amarillo oscuro	5
blanco puro	0	amarillo rojizo	6
blanco amarillento	1	anaranjado	7
amarillo blanquecino	2	rojo puro	8
amarillo claro	3	rojo oscuro	9

El registro de meteoros en el mapa celeste es la siguiente etapa en el conjunto de observaciones complejas que permiten determinar la posición del radiante en el firmamento. Pero tales contemplaciones no se califican de iniciales y para quienes se interesen por ellas les recomendamos el libro de V. P. Tsesévich «Qué y cómo observar en el cielo» o la «Parte constante del Calendario Astronómico» (Moscú, Naúka, 1981, en ruso).

Durante su vuelo a través de las capas enrarecidas de la atmósfera terrestre las partículas meteóricas ionizan las moléculas y atómos del aire; como resultado, en su recorrido a través de la atmósfera se forman hilos alargados y finos de gas ionizado, que con frecuencia se llaman tubos de ionización. Después que pasan las partículas, en los tubos de ionización empieza el proceso de reducción de las moléculas y átomos de gas, durante el cual ellos desprenden la energía ya recibida de las partículas meteóricas. Esa energía se desprende en forma de ondas electromagnéticas, incluidas las luminosas, si la energía de excitación ha sido alta. Entonces en la trayectoria del vuelo del meteoro, ya tras su extinción, se observa una luminiscencia débil, llamada huella o traza meteórica. Es del todo evidente que las trazas meteóricas, visibles a simple vista, surgen solamente luego de la aparición de los meteoros brillantes, originados por las partículas de alta energía cinética.

La mayoría de las trazas meteóricas desaparecen muy rápidamente, en varios segundos, pero a veces duran varios minutos. Tales trazas en los primeros segundos de su aparición parecen inmóviles y después empiezan a trasladarse lentamente en el fondo del cielo estelar, cambiando al mismo tiempo sus dimensiones, la forma y el brillo. Llámanse corrientes de aire la traslación o deriva de las trazas meteóricas.

A fin de aumentar el tiempo de observación de las trazas meteóricas es necesario utilizar los prismáticos, que también permiten ver las trazas, invisibles a simple vista, para lo cual es útil ver con los prismáticos los puntos de extinción de los meteoros brillantes. Durante las observaciones deben registrarse con exactitud de hasta 1 segundo los momentos de aparición de las trazas meteóricas, su paso al fondo de las estrellas aisladas (lo cual requiere buen conocimiento del cielo estelar), la variación de los tamaños y forma, así como su desaparición. En ocasiones las formas son tan insólitas que valdría la pena, si es posible, dibujarlas con rapidez aunque sea de manera esquemática. Por cierto que semejantes observaciones complejas deberían realizarse en colectivo o grupo de tres o cuatro observadores, cada uno de los cuales puede asumir determinadas obligaciones. En particular, sería interesante registrar el color de la traza en diversos momentos de tiempo, ya que éste varía con frecuencia del plateado al verdoso y en ocasiones adquiere matices rojizos.

A veces ocurre que en la atmósfera terrestre no penetran partículas finas sino enormes bloques y entonces el observador puede contemplar el vuelo de un bólido: una muy brillante explosión con frecuencia acompañada de efectos acústicos. Tal fenómeno debe ser registrado en todos sus detalles: tiempo de aparición y de extinción, dirección y duración del vuelo, brillo, existencia de la traza, duración de su existencia, luminiscencia y deriva (es decir, desplazamiento de la traza en el cielo).

Grandes cuerpos meteóricos pueden alcanzar la superficie de la Tierra y en este caso reciben el nombre de meteoritos. Son la única sustancia extraterrestre (excepto, la lunar) accesible para los análisis directos en los laboratorios terrestres, y por este motivo coleccionar e investigar los meteoritos es extremamente necesario para muchas ramas de la ciencia: astronomía, física, geología,

aerodinámica, química y biología. Por eso el Comité de Meteoritos y el Instituto de Microbiología de la Academia de Ciencias de la URSS se dirigieron a la población exhortando a recoger y enviarles los eventuales meteoritos.

En la actualidad, en el mundo se conocen cerca de 3000 meteoritos, 174 de ellos en la URSS. Unos de ellos son muy grandes (como el Hierro de Pallás, de 687 kg de masa, o el Boguslavka, de 257 kg) y otros muy pequeños: de decenas de gramos.

Han sido frecuentes los casos de lluvias de meteoritos, es decir, la caída simultánea de muchos meteoritos. Una lluvia de meteoritos que presta el máximo interés tuvo lugar en la URSS el 12 de febrero de 1947 en el Extremo Oriente en la región de la cordillera de Sijoté-Alín: sobre un área de 2,4 km² cayeron varios miles de meteoritos de unas 100 t de masa total; la masa del más grande de ellos fue de 1745 kg, y del más pequeño, de 0,01 g.

Las investigaciones muestran que por su composición química los meteoritos se dividen en tres clases: férreos (sideritos), ferropétreos (siderolitos) y pétreos (aerolitos). La primera clase de ellos contiene como promedio 91% de hierro y 8% de níquel; la segunda, 55% de hierro, 5% de níquel, 19% de oxígeno, 12% de magnesio y 8% de silicio; los de la tercera clase pueden contener 16% de hierro, 41% de oxígeno, 21% de silicio y 14% de magnesio. La antedicha lluvia de Sijoté-Alín era de meteoritos férreos.

Cabe mencionar brevemente el famoso meteorito de Tunguska (Siberiano), que explotó en la cuenca del río Podkámennaya Tunguska a las 7 de la mañana del 30 de junio de 1908. Como es sabido, provocó grandes destrucciones del bosque, pero no fue encontrado ni un fragmento del mismo. En relación con este fenómeno ya en nuestros tiempos se propagaron leyendas increíbles sobre su naturaleza. Se declara infundadamente que dicho meteorito era de uranio, desintegrado durante la explosión nuclear, o de una sustancia desconocida que generó una potente explosión atómica, semejante a la de varias bombas de hidrógeno, o, finalmente, de antisustancia. Además, se afirma que la explosión fue acompañada de radiación radiactiva que provocó un impetuoso crecimiento de la vegetación en la zona afectada.

Muchos conocidos científicos soviéticos (V. G. Fesénkov, E. L. Krinov. I. S. Astapóvich, K. P. Staniukóvich y otros) demostraron con sus investigaciones la inconsistencia total de esas afirmaciones anticientíficas. No se ha detectado ninguna radiación elevada en el lugar de destrucción. El fenómeno consiste en que en la atmósfera terrestre irrumpió a gran velocidad un pequeño cometa y la intensa frotación con las capas atmosféricas y el choque contra la almohada de aire formada por el aire comprimido delante de la cabeza del cometa provocaron la explosión de su núcleo de hielo, de modo análogo a como lo hace el aire líquido de amplio uso en los trabajos de explosión durante la construcción de canales y carreteras en las zonas montañosas. El aire calentado a temperatura alta causó un incendio cuyas huellas (quemaduras) se conservaron bien en la corteza de los árboles. Las cenizas de la vegetación quemada abonaron abundantemente el suelo, lo cual contribuyó al rápido crecimiento del bosque joven en el lugar de la catástrofe.

En el suelo de la zona de explosión fueron encontradas gran cantidad de finísimas partículas fundidas de silicatos y metal, de unos 10^{-6}g de masa. Son residuos de la sustancia meteorítica polvorizada y fundida en la atmósfera terrestre, y luego solidificada. Es muy probable que hubiera fragmentos de sustancia de tamaño mayor, pero desaparecieron en las profundidades de la ciénaga, que abunda en la zona del impacto del meteorito. Puede considerarse que la naturaleza del meteorito de Tunguska está aclarada definitivamente y no hay ninguna necesidad de promover hipótesis impropias.

Volvamos al problema de coleccionar meteoritos y recordemos las reglas de su búsqueda. Si un meteorito ha caído en suelo seco, pedregoso o en la nieve y se ha recogido inmediatamente, es necesario tomar medidas para conservar su esterilidad, es decir, prevenir la penetración de microbios terrestres. Del meteorito de pequeño tamaño deben eliminarse cuidadosamente el suelo o la nieve que se pegaron, tratando de no tocarlo con manos desnudas, luego se envuelve varias veces en un papel limpio y se envía a la dirección siguiente: 117313, Moskvá, ul. Marii Uliánovoi, d. 3, korpus 1, Komitet po meteoritam Akademii Nauk SSSR (Comité de meteoritos de la Academia de Ciencias de la URSS). De un meteorito grande se separa

un fragmento no muy grande (cerca de 50 g) y tomando las mismas precauciones se envía a la dirección señalada.

Puede presentarse el caso de ser testigo del vuelo de un bólido o de la caída de un meteorito, entonces se solicita describir en todos los detalles las circunstancias del fenómeno observado.

Las observaciones más sencillas de los bólidos consisten en el registro del lugar de observación, la fecha, los momentos del tiempo (con precisión de hasta 1 minuto) de aparición y desaparición del bólido, la dirección de su vuelo respecto a los puntos cardinales del horizonte (sur, oeste, norte y este), la altura aproximada y el azimut de su aparición, desaparición o desintegración, así como los efectos luminosos (explosión, iluminación del lugar) y acústicos (ruido, estruendo, crepitación), anotando también el tiempo de su aparición.

Es muy deseable determinar en grados la longitud de la traza del bólido, lo cual requiere aprender a definir a ojo la distancia aproximada entre los puntos en el cielo. La distancia entre las puntas del pulgar y el índice abiertos al máximo puede servir de buen patrón para tales mediciones. Para la mano extendida hacia adelante dicha distancia es de cerca de 16...17°. Las dimensiones angulares del propio bólido también pueden ser valoradas comparándolas con las de los discos solar o lunar, cuyos diámetros son iguales a 0,5°. Si el vuelo del bólido tiene lugar de noche, es deseable trazar en el mapa celeste su trayectoria entre las estrellas.

Observaciones más complejas pueden completarse con la evaluación del brillo y el color del bólido, de su núcleo (parte interior) y envoltura (parte exterior), y asimismo con las variaciones de esas características durante el vuelo. Es de suma importancia describir la forma del bólido y la estructura de su traza, indicando la dirección de la velocidad angular de traslación de la última. Mucho más deseable sería dibujar o fotografiar el vuelo del bólido, pero también en este caso es necesario registrar los momentos del tiempo de sus características.

Al caer un meteorito, hay que registrar el lugar, la fecha y la hora del suceso, describir los fenómenos acústicos que acompañan su caída, anotar su luminosidad y los fenómenos que acompañan el choque del meteorito contra la superficie terrestre (destrucción del suelo, em-

budos, lanzamiento de terrones, torbellino de polvo, quema de la vegetación, etc.), y enviar, junto con un fragmento del meteorito, todas las anotaciones al Comité de Meteoritos de la AC de la URSS.

En caso de haber caído una lluvia de meteoritos o un meteorito grande que ocasionó notables destrucciones, es necesario mandar urgentemente un cablegrama comunicándolo al Comité de Meteoritos.

Quisiera que el observador principiante recuerde la regla de oro del investigador: ninguna observación debe perderse, y si por algún motivo el propio investigador no puede elaborar sus observaciones y obtener resultados científicos, está obligado a enviarlas a los especialistas de la institución astronómica más cercana o a una de las secciones de la Sociedad de Astronomía y Geodesia adjunta a la Academia de Ciencias de la URSS, que existen en muchas ciudades de la Union Soviética (véase la pág. 000), o a las correspondientes instituciones de otros países. Esa Sociedad Científica no sólo reúne en sus filas a los astrónomos profesionales dedicados a las investigaciones científicas en los centros astrónomicos especializados y a la enseñanza de la astronomía en los centros de enseñanza superior, sino también a numerosos aficionados a la astronomía que consagran a ella sus horas de ocio. Empleando los modestos medios de observación disponibles, los aficionados a la astronomía realizan principalmente las observaciones de los meteoros, estrellas variables, ocultaciones de estrellas y planetas por la Luna, así como de las nubes plateadas. Los aficionados trabajan sobre sus investigaciones en la Sociedad bajo la dirección de los especialistas.

Así pues, con sus observaciones masivas de los cuerpos celestes los aficionados a la astronomía prestan gran ayuda al desarrollo de esta interesante y útil ciencia.

CAPITULO IV

Anteojo astronómico más sencillo hecho por aficionados

Por el contenido de los capítulos anteriores el lector pudo ver que las observaciones de la mayoría de los cuerpos celestes, incluso las más sencillas, son imposibles sin telescopios aunque sea de pequeño tamaño. Por supuesto, lo más conveniente sería emplear telescopios de potencia mediana de fabricación industrial, de los que disponen en la actualidad muchos centros de enseñanza superior, escuelas, palacios y casas de pioneros y escolares, observatorios de aficionados en los planetarios, grandes empresas industriales y algunas secciones de la Sociedad Nacional de Astronomía y Geodesia adjunta a la Academia de Ciencias de la URSS. En caso de no tener tal posibilidad, es fácil construir un telescopio de propia fabricación: de lentes (refractor) o especular (reflector).

Cabe advertir, que la fabricación de un telescopio de calidad satisfactoria es una tarea bastante complicada si se toma en consideración las exigencias que se presentan respecto a su óptica e instalación. Para hacer un telescopio refractor de tamaño mediano que proporcione una imagen satisfactoria, es preciso tener un objetivo de dos lentes ópticas de buena caldad, de poder óptico de signos opuestos y que se distingan un poco por sus características de refracción.

Naturalmente, lo mejor sería adquirir un objetivo de 8...12 cm de diámetro, con buenas propiedades ópticas. Pero si es imposible conseguir un objetivo, habrá que adquirir los correspondientes vidrios ópticos (lentes) para luego hacerlo uno mismo.

Para las observaciones iniciales no se precisan lentes de gran diámetro; son suficientes lentes de 6 a 12 cm, que

con frecuencia están en venta en las tiendas de materiales y equipo didáctico. Lo principal consiste en seleccionar correctamente las lentes adecuadas.

Cada lente, además del diámetro, se caracteriza por el poder óptico E, es decir, por la magnitud inversa a la distancia focal F de la lente, expresada necesariamente en metros:

$$E = \frac{1}{F}.$$

En esta fórmula F se mide en metros, mientras que el poder óptico E, en unidad de medición que se llama dioptría.

El poder óptico de las lentes convexas (amplificadoras, convergentes) es de signo positivo y el de las cóncavas (de disminución, divergentes), negativo. Así, la lente convexa con $F = 2$ m tiene el poder óptico $N = 1/2 = + 0{,}5$ dioptrías, en tanto que la lente divergente con $F = -40$ cm $= -0{,}4$ m tiene $N = -1/0{,}4 = -2{,}5$ dioptrías.

Cada lente tiene sus defectos, de los cuales el principal es su aberración esférica y cromática. La primera consiste en que los rayos luminosos paralelos, que rasan a través de la lente, no convergen de manera ideal en un punto, lo cual provoca una difuminación ligera de la imagen de los objetos. La aberración cromática consiste en que la luz blanca se descompone en la lente en rayos policromáticos integrantes, y como resultado se obtiene una imagen coloreada. Ambas aberraciones aumentan con el incremento del poder óptico de la lente, es decir, con el incremento de la curvatura de su superficies, pero pueden ser reducidas por medio de la correspondiente combinación de las lentes convergente y divergente. Por eso, no es necesario seleccionar lentes de gran poder óptico. Para un refractor de fabricación casera la más conveniente es la lente convergente con un poder óptico de +0,5 a +2,5 (no más) dioptrías, para la cual se selecciona una lente divergente de diámetro igual, pero que se diferencie un poco por la magnitud del poder óptico.

El poder óptico de una lente convexa es fácil determinarlo experimentalmente. A través de la lente se examina un objeto lejano midiendo la distancia de la lente al ojo en presencia de una imagen nítida del objeto (la imagen será invertida). La distancia obtenida es la distancia focal

de la lente por la que se calcula el poder óptico. También puede obtenerse la imagen del Sol en una pantalla, pero en este caso hay que tomar precauciones para no provocar incendio con los rayos solares concentrados y de ninguna manera debe mirarse al Sol a través de la lente.

La lente divergente se selecciona para el objetivo de modo que la lente convexa se ajuste bien, sin intersticio, a su superficie cóncava, sólo que los radios de las dos lentes tienen que ser un poco distintos, de lo contrario la luz no se convergerá en el objetivo. Para una combinación acertada las mejores son las lentes de planos cóncavos.

La lente divergente sa selecciona de manera análoga a cómo se hace con la convexa, es decir, contemplando los objetos lejanos a través de la combinación ya de dos lentes, con la particularidad de que hacia los objetos debe estar dirigida la lente convexa.

La más acertada para el objetivo será la combinación de tales lentes, con la cual la distancia focal del objetivo (es decir, la combinación de lentes) no supera 1,5 m y la representación nítida de los objetos está libre de los colores iridiscentes. Ello se logra con un diámetro de las lentes no superior a 12 cm, con menor frecuencia, de 15 cm, y como regla, con un diámetro próximo, a 8 cm. Si el diámetro es mayor de 12 cm, se requiere un complicado pulido especial de la superficie de las lentes, lo que no siempre están en condiciones de hacer los aficionados. Precisamente es esto lo que explica el hecho de que los aficionados, deseando tener un telescopio de considerable diámetro, no construyen refractores sino reflectores.

El construir un reflector de propia fabricación también requiere buen trabajo y habilidad, pero es accesible para muchos aficionados. En las secciones de la Sociedad Nacional de Astronomía y Geodesia hay aficionados que construyeron telescopios reflectores con un espejo principal de 10 a 30 cm de diámetro, con la particularidad de que esos espejos fueron hechos de bloques defectuosos de vidrio para portillas, lo cual no perjudicó en absoluto su calidad.

Los procedimientos que se emplean para fabricar un reflector requieren una descripción detallada, lo cual en el presente libro es imposible hacer ni siquiera en breve. Pero a los lectores que se interesen por la construcción de reflectores les recomendamos los libros de L. L. Sikoruk

y M. S. Navashin y los artículos publicados en la revista «Zemlia y Vselénnaia» («La Tierra y el Universo», en ruso) de 1966 a 1976, señalados en la pág. 189. Aquí describiremos sólo cómo se construye el refractor más sencillo, que por su modesto tamaño sería mejor llamarlo anteojo astronómico más simple.

En ocasiones es difícil elegir una combinación de lentes apropiadas para hacer el objetivo del anteojo, y entonces hay que contentarse con un objetivo de una lente biconvexa con un diámetro de 4 a 6 cm y poder óptico de +0,5 a +1 dioptría. Para la calidad de la imagen tiene gran importancia la relación entre el diámetro del objetivo D y su distancia focal F, llamada abertura relativa:

$$A=\frac{D}{F}.$$

En un objetivo de una sola lente la abertura relativa no debe superar la relación 1:20, y en uno de doble lente, 1:15. En caso de no lograr la combinación de lentes de diámetro adecuado, puede utilizarse una lente de diámetro mayor, pero hace falta disminuir (diafragmar) su superficie de trabajo hasta el diámetro necesario superponiendo un diafragma de cartón. El diafragma apropiado se selecciona experimentalmente de un juego de diafragmas de distintos diámetros. El mejor se considera el diafragma que proporciona la imagen de los objetos sin coloreado iridiscente.

Es sabido que el esquema óptico del anteojo está compuesto no sólo de objetivo sino, además de ocular que también tiene su distancia focal f, la cual debe ser menor que la del objetivo F. La relación $n = F/f$ proporciona un aumento del anteojo, lo cual no significa de ninguna manera que utilizando oculares de pequeñas focales pueda obtenerse un aumento tan grande como se quiera. Las capacidades del objetivo de una sola lente permiten emplear, en el mejor de los casos, un aumento de 100 veces, pero, como regla, el estado de la atmósfera terrestre obliga a aplicar un aumento de cerca de 50...80 veces, en virtud de lo cual para los oculares deben seleccionarse las lentes biconvexas. Así, para $F = 1$ m y $F = 2$ m, como oculares se recomiendan las lentes biconvexas con distancias focales f iguales a 50, 25 y 20 mm, las cuales dan un aumento de 20 a 100 veces.

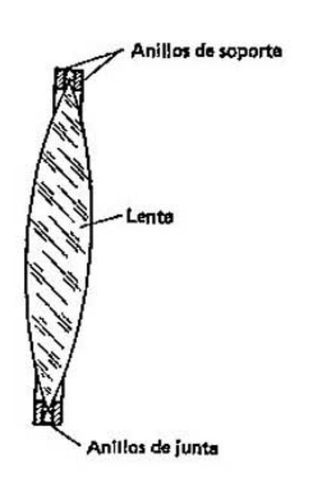


Fig. 64. Objetivo del anteojo

La construcción de un telescopio debe comenzarse por el objetivo. De un contrachapado o cartón grueso se recortan anillos cuyo diámetro exterior debe ser 10 mm mayor que el de la lente del objetivo. Dos de estos anillos deben tener el diámetro interior 5 mm menor que el de la lente, y los diámetros interiores de los anillos restantes tienen que ser iguales al diámetro de la lente. Los dos primeros anillos sirven de soportes que aprietan la lente del objetivo, en tanto que los demás son juntas destinadas para protegerla contra los efectos mecánicos durante el apriete. El número de anillos de junta puede variar según el grosor de la lente.

Al montar el objetivo, un anillo de soporte se coloca sobre la superficie horizontal que tiene una cavidad para la lente; luego ésta se pone sobre el anillo, al cual se pega con cola el anillo de junta que debe tener buen contacto con los bordes de la lente. De modo análogo se pegan los restantes anillos de junta en cantidad suficiente para que el segundo anillo de soporte apriete bien los bordes de la lente contra el primer anillo de soporte (fig. 64).

De igual manera se arma el objetivo de dos lentes, sólo que entre los bordes de las superfcieies interiores de las lentes se insertan, además, finas juntas de papel o de hoja metálica a fin de que estas superficies no contacten entre sí. Las juntas pueden tener forma de anillos estrechos y se colocan a lo largo de la periferia de las lentes, pero lo mejor sería hacerlas en forma de arcos separados que abarcan un ángulo de 30°, disponiéndolos recíprocamente a 120° de distancia.

La parte más difícil del trabajo está relacionada con el ajuste correcto de las lentes, que consiste en hacer coincidir sus ejes ópticos. Para lograrlo, en ocasiones hay que insertar entre las lentes, en distintos lugares, un número desigual de juntas. Así pues, antes de fijar pegando el

objetivo de dos lentes, se verifica la exacta colocación de los lentes que deben proporcionar una imagen no coloreada de los objetos lejanos.

El objetivo encollado se encaja en una montura de cartón de diámetro correspondiente y de unos 10 cm de longitud, previamente pintado por dentro de negro mate o de tinta china. La superficie exterior de la montura debe estar lisa, por eso se recomienda hacerla de cartulina lisa (tipo bristol) o recubrirla de papel fino de color negro. El tubo del anteojo se fabrica también de cartón fino o de varias capas de papel grueso encolado. El diámetro interior del tubo tiene que ser igual al diámetro exterior de la montura del objetivo para que ésta se asiente compactamente dentro del tubo y quede inmovilizada en él. La superficie interior del tubo se reviste de papel negro. En vez de pegar el papel, el interior del tubo puede pintarse, pero con una pintura que no se desprenda luego, ya que en caso contrario ensuciaría la óptica del anteojo. La longitud del tubo depende de la distancia focal del objetivo y lo mejor sería hacerlo 10 cm menor que la distancia focal. Por un extremo del tubo se introduce ajustadamente sin cola la montura con el objetivo, para que en caso de necesidad éste se pueda siempre sacar.

En el otro extremo del tubo se mete el tubo menor con el ocular fijado en la montura al igual que el objetivo. La montura para el ocular se hace de anillos de cartón o de contrachapado y se adhiere fuertemente al tubo del ocular. El diámetro exterior de éste tiene que ser 0,5 mm menor que el diámetro interior del tubo mayor para que el primero pueda deslizar con cierto esfuerzo y no libremente. Con el fin de que el tubo mayor esté bien ajustado al del ocular se recomienda hacerlo de 30 cm de largo. Tal longitud garantizará el movimiento del tubo del ocular sin corrimiento transversal. La superficie interior del tubo del ocular se pinta de negro o con tinta china y la exterior es mejor pegarla con papel negro liso. Es necesario hacer una cantidad de tubos para el ocular igual al número de oculares preparados para el anteojo y utilizarlos en dependencia del objeto a observar y de las condiciones atmosféricas.

Es evidente que no debe despreciarse la posibilidad de fabricar el tubo y las monturas para el objetivo y los oculares de metal. En este caso en la superficie exterior de la montura para el objetivo y en la interior del extremo por

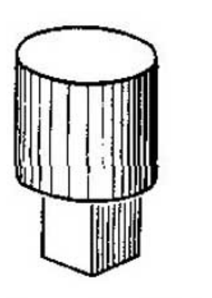


Fig. 65. Cabezal del trípode

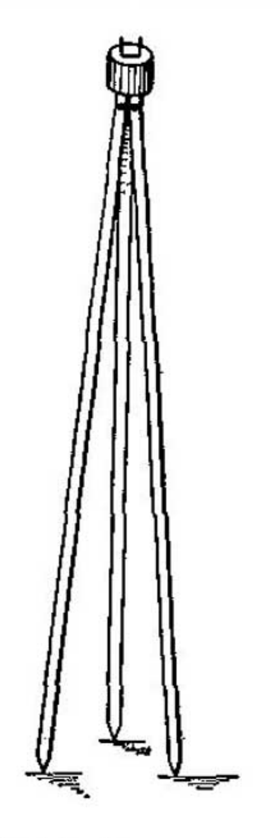
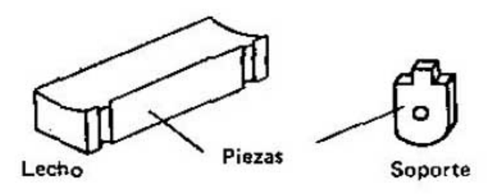


Fig. 66. Trípode

el que se introduce el objetivo se hace un fino roscado para enroscar el objetivo, o se puede fijar mediante tres tornillos que se enroscan en tres orificios con fileteado, hechos en el tubo del anteojo. El extremo del tubo del anteojo por el que se inserta el ocular, puede hacerse con estrechamiento, ajustando su diámetro al diámetro de la montura de los oculares.

A fin de evitar sacudidas durante las observaciones, el anteojo astronómico se instala sobre un trípode cuyo cabezal es fácil de hacer de un trozo de madera redondo de unos 6...7 cm de diámetro y 15 cm de altura. La parte inferior del madero se corta en forma de prisma triangular, cuyo ancho de cada una de sus caras no debe ser de 5... ...6 cm y la altura, de unos 6...7 cm. La parte superior se deja cilíndrica y del mismo diámetro (fig. 65).

De estacas o de una tabla de metro y medio de longitud se hacen tres pies de unos 3...4 cm de diámetro cada uno, cuyas puntas inferiores tienen que ser agudas. Los extremos superiores de los pies se sujetan mediante un tirafondo a las caras del prisma de modo que éstas puedan girar alrededor de los tirafondos con gran rozamiento. En la fig. 66 se ofrece un trípode acabado.



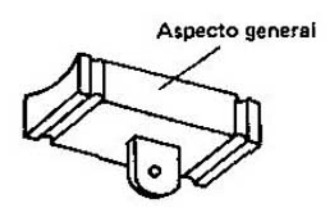


Fig. 67. Lecho con soporte

La sujeción entre el anteojo y el trípode se hace de un madero de unos 15...16 cm de longitud, 4 cm de ancho y 1,5...2 cm de grosor. Con ayuda de un formón semirredondo o una escofina en la cara larga superior del madero se entalla una ranura, cuya curvatura debe corresponder a la del tubo del anteojo. En la parte inferior, opuesta, del madero se hace un orificio rectangular de 3 por 1 cm, en el cual se coloca con cola una espiga de igual tamaño, hecha en el extremo de una tableta de 5 × 5 × 1 cm. El otro extremo de esta tableta se hace semicircular. Ese madero sirve de lecho para el telescopio y la tableta adherida a él, de soporte de este lecho (fig. 67). Luego, de una cinta de hierro de 2...3 cm de ancho y 1,5...2 cm de grosor se dobla una grapa rectangular de unos 5,5 cm de altura y 1 cm de ancho. En el centro de cada cara de la grapa se perforan orificios de diámetros iguales a los del tirafondo y perno que tiene el aficionado. Con su cara menor la grapa se pone sobre el extremo cilíndrico del cabezal del trípode de modo que las caras más largas de la grapa estén dirigidas hacia arriba, después de lo cual la cara menor se aprieta contra el extremo del cabezal mediante el tirafondo mayor. Entre la cara superior de la grapa y la cabeza del tirafondo es útil insertar una arandela de unos dos centímetros de diámetro, que asegurará un apriete compacto de la grapa contra el cabezal del trípode. El tirafondo se

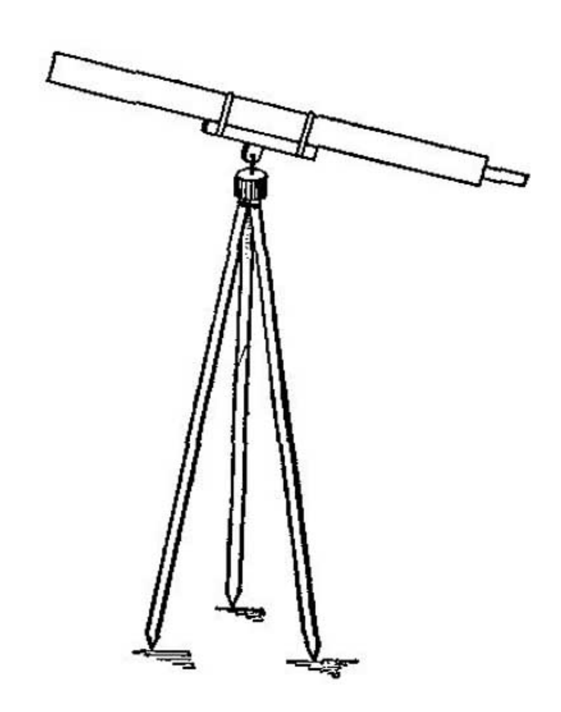


Fig. 68. Aspecto general del anteojo sobre trípode

entornilla de tal manera que la grapa no quede floja, sino que gire en el cabezal con rozamiento. El soporte del lecho del tubo del anteojo se coloca en la grapa entre sus caras largas, las cuales se aprietan mediante un perno, para lo cual en el centro del soporte se perfora un orificio del mismo diámetro que en las caras largas de la grapa. El grado de apriete del perno debe permitir el giro del soporte del lecho entre las caras de la grapa con notable rozamiento.

La parte central del tubo del anteojo se coloca en la ranura cilíndrica del lecho y se fija en ella mediante diferentes procedimientos. Simplemente se puede pegar el tubo al lecho, pero es mejor sujetarlo con anillos o alambre. En caso de utilizar los dos últimos métodos es mejor entallar cerca de los bordes del lecho, en sus tres caras, unas ranuras para meter en ellas los anillos o el alambre que sujetan el tubo y el lecho. Tal instalación del anteojo en el trípode azimutal permite girarlo en azimut de 0 a 360° c en altura de 0 a 70°, es decir, observar los astros casi en todas las regiones de la bóveda celeste (fig. 68).

Si hay posibilidad, lo mejor sería hacer toda la instalación para el anteojo astronómico de metal ligero. De tener buenos talleres, se puede hacer una instalación (llamada de paralaje), en la cual el anteojo gire en torno a dos ejes mutuamente perpendiculares, uno de los cuales se dirija al polo del mundo (en la primera aproximación, a la Estrella Polar). Tales instalaciones están descritas detalladamente en la literatura sobre telescopios que recomendamos (véase la bibliografía).

Por supuesto que el brillo de la imagen obtenida en un telescopio de propia fabricación será menor que en un telescopio refractor escolar de fabricación industrial, no obstante, ello no impide realizar las observaciones de los cuerpos celestes brillantes.

Apéndice informativo

Tabla 1. *Alfabeto griego*

α alfa	ι iota	ρ rho
β beta	κ kappa	σ sigma
γ gamma	λ lambda	τ tau
δ delta	μ my	υ ípsilon
ε épsilon	ν ny	φ phi
ζ zeta	ξ xi	χ ji o chi
η eta	ο ómicron	ψ psi
ϑ theta	π pi	ω omega

Tabla 2. *Constelaciones visibles desde el territorio de la URSS*

Designaciones: *m*, magnitud sideral; D, estrellas binarias y múltiples; V, estrellas variables; C, cúmulos de estrellas; N, nebulosas galácticas: G, sistemas siderales (galaxias); entre paréntesis se da el número del objeto celeste según el catálogo de Dreyer (NDC).

Constelación	Estrellas brillantes y cuerpos notables
Andrómeda	α Sirah $2{,}2^m$; β Mirach $2{,}4^m$; γ Alamak $2{,}3^m$; D: γ, π; V: R; C: (752); G: (224).
Gemelos	α Cástor $1{,}6^m$; β Pólux $1{,}2^m$; D: α, δ, κ, μ; V: ζ η; C: (2168); N: (2392).
Osa Mayor	α Dubhe $1{,}9^m$; β Merak $2{,}4^m$; γ Phegda $2{,}5^m$; δ Megrez $3{,}4^m$; ε Alioth $1{,}7^m$; ζ Mizar $2{,}2^m$; η Benetnash $1{,}9^m$; D: ζ y g, ζ; G: (3031, 3034).
Can Mayor	α Sirio $1{,}6^m$; β Mirzam $2{,}0^m$; ε Adara $1{,}6^m$; η Aludra $2{,}4^m$; D: ε; V: UW; C: (2287).
Balanza	D: α; V: δ.
Acuario	α Sadalmelek $3{,}2^m$; β Sadalsud $3{,}1^m$; D: ζ; V: κ, R; C: (7089); N: (7009, 7293).
Cochero	α Capella (Cabra) $0{,}2^m$; β Menkalinan $2{,}1^m$; D: ϑ; V: ε, ζ, RT, UU, WW; C: (1912, 1960, 2099).

Constelación	Estrellas brillantes y cuerpos notables
Boyero	α Arturo $0{,}2^m$; D: ε, ι, κ, μ, ξ; V: W.
Cabellera de Berenice	La propia constelación es de por sí un hermoso cúmulo de estrellas débiles; G: (4826).
Hércules	α Ras Algethi, variable de $3{,}0^m$ a $4{,}0^m$; β Korneforos $2{,}8^m$; D: α, δ; V: α, U; C: (6205, 6341).
Hidra Hembra	α Alphard $2{,}2^m$; D: ϑ; V: R, W; C: (2548); N: (3242).
Lebreles	α Hara $2{,}8^m$; D: α; V: Y; C: (5272); G: (4258, 4736, 5194).
Virgen	α Espiga $1{,}2^m$; γ Arich $2{,}9^m$; D: γ; G: (4472).
Delfín	D: γ.
Dragón	γ Etamín $2{,}4^m$; β Alvaid $3{,}0^m$; D: η, ν, ψ.
Unicornio	C: (2301, 2323); N: (2238, 2264).
Serpentario	α Ras Alhage $2{,}1^m$; V: χ; C: (6218, 6254, 6273).
Serpiente	α Unuk Elhaya $2{,}7^m$; D: β, η; V: R; C: (6611, 5904); N: (6611).
Casiopea	β Kaf $2{,}4^m$; α Schedir $2{,}5^m$; D: η; V: γ, ρ, R; C: (581,663, 7654); N: (IC 59, 7635).
Ballena	β Diphda $2{,}2^m$; α Mencar $2{,}8^m$; o Mira (Maravillosa), variable entre $2{,}0^m$ y $10{,}1^m$; D: γ; V: o T; N: (246).
Capricornio	D: α.
Cisne	α Deneb $1{,}3^m$; γ Sador $2{,}3^m$; β Albireo $3{,}2^m$; D: β; V: χ, P, T, W; C: (6871, 7092); N: (6960, 6992—5).
León	α Régulo $1{,}3^m$; β Denébola $2{,}2^m$; γ Alguieba $2{,}3^m$; D: γ, ζ; V: R; G: (3627).
Lira	α Vega $0{,}1^m$; β Sheliac, variable de $3{,}3^m$ a $4{,}2^m$; γ Sulafat $3{,}3^m$; D: β, δ, ε, ζ; V: β, δ, R; N: (6720).
Zorro Menor	N: (6853).
Osa Menor	α Polar (Kinosura) $2{,}1^m$; β Kochab $2{,}2^m$; γ Phercad $3{,}1^m$.
Can Menor	α Proción $0{,}5^m$; β Homeisa $3{,}1^m$.
Carnero	α Hamal $2{,}2^m$; β Sheratan $2{,}7^m$; D: γ, ε, λ; V: U.
Aguila	α Altair $0{,}9^m$; V: η, R, FF.
Orión	α Betelgueuse, variable de $0{,}4^m$ a $1{,}3^m$; β Rígue1 $0{,}3^m$; γ Bellatrix $1{,}7^m$; ε Alnilam $1{,}8^m$; ζ Alnitac $2{,}0^m$; δ Mintaca $2{,}5^m$; D: δ, ϑ, ι, σ; V: α, U; N: (1976, 1977, ζ de Orión).
Pegaso	α Markab $2{,}6^m$; β Scheat, variable de $2{,}4^m$ a $2{,}8^m$; ε Eniph $2{,}5^m$; γ Algenib $2{,}9^m$; D: π; V: β; C: (7078).
Perseo	α Mirfach $1{,}9^m$; β Algol, variable de $2{,}2^m$ a $3{,}5^m$; D: ε, ζ, η; V: β, ρ; C: (869, 884, 1039); N: (1499).
Cangrejo	D: ζ, ι; C: Pesebre (2632), (2682).
Peces	V: TV.

Constelación	Estrellas brillantes y cuerpos notables
Corona Boreal	α Gemma (Perla) $2{,}3^m$.
Escorpión	α Antares, variable entre $0{,}9^m$ y $1{,}8^m$ y binaria, pero difícilmente discernible; β Acrab $2{,}9^m$; D: β, μ, ν; V: α, μ: C: (6405, 6475, 6121).
Sagitario	ε Kaus-Australis $1{,}9^m$; σ Nunki $2{,}1^m$; ζ Askela $2{,}7^m$; V: X, Y, W, RT; C: (6531, 6603, 6656, 6809); N: (6618, 6514, 6523).
Toro	α Aldebarán $1{,}1^m$; β Nat $1{,}8^m$; η Alción $3{,}0^m$ (en el cúmulo estelar de Pléyades); D: ϑ, ϰ, σ; V: λ, CE; C: Pléyades, Híades; N: (1952).
Triángulo	V: R; G: (598).
Cefeo	α Alderamín $2{,}6^m$; D: β, δ, ξ; V: δ, μ, VV, T.
Pez Austral	α Fomalhaut $1{,}3^m$.

Además de las enumeradas, son visibles también las constelaciones menos notables: en el hemisferio boreal, Jirafa, Caballo Menor, León Menor, Lince, Flecha y Lagarto; en el cielo austral (completa o parcialmente), Lobo, Cuervo, Paloma, Liebre, Brújula, Popa, Microscopio, Bomba, Horno Químico, Buril, Escultor, Centauro, Copa, Escudo, Erídano, Corona Austral y algunas otras.

Tabla 3. *Lista de nebulosas galácticas claras relativamente brillantes*

Designaciones: NGC, número según el catálogo de Dreyer; M, número según el catálogo de Messier; *d*, dimensiones visibles; *r*, distancias en años-luz.

NGC	M	Nombre	d	r	Magnitud estelar	Constelaciones y posición de la nebulosa
			Nebulosas difusas			
2238	—	Roseta	64′×60′	3600	—	Unicornio; en el centro entre δ del Unicornio y μ de Orión.
2264	—	Cono	60×30	3260	$4,7^m$	Unicornio; 3° al sur de ξ de los Gemelos.
6611	16		35×28	4560	8,3	Serpiente; 2° al norte de la nebulosa M 17.
IC59	—	γ de Casiopea	18×12	650	2,2	Casiopea; alrededor de la estrella γ.
6960	—	Red	70×6	1300	—	Cisne; 3° al sur de la estrella ε.
6992—5		Nubes	78×8	1300	—	Cisne; 2,5° al sureste de la estrella ε.
1976	42	Nebulosa Mayor de Orión	66×60	980	5,4	Orión; en torno a la estrella ϑ en la Espada de Orión.
1977	--	42 de Orión	40×25	1300	4,6	Orión; 0,5° al norte de la estrella ϑ.
—	—	ζ de Orión	330×40	1300		Orión; en la proximidad a la estrella ζ.
1499	—	California	145×40	1960	4,0	Perseo; 1° al noreste de la estrella ξ.
6514	20	Triple	29×27	2200	6,9	Sagitario; 3° al suroeste de la estrella μ.
6523	8	Laguna	50×35	2500	6,8	Sagitario; 1,5° al sur de la nebulosa M 20.
6618	17	Herradura u Omega	46×37	3250	8,9	Sagitario; 3° al sudoeste de γ de Escudo.
1952	1	Cangrejo	5×3	5500	8,4	Toro; 2° al noroeste de la estrella ζ.

NGC	M	Nombre	*d*	*r*	Magnitud estelar	Constelaciones y posición de la nebulosa
			Nebulosas planetarias			
2392	—		0,8′×0,7′	1350	8,3	Gemelos; 2,5° al sudoeste de la estrella δ.
7009	—	Saturno	0,7×0,4	1370	8,4	Acuario; 1° al oeste de la estrella ν.
7293	—	Caracol (Helix)	15×12	650	6,5	Acuario; en el centro entre la δ del Capricornio y la α del Pez Austral.
3242	—		0,7×0,6	1900	9,0	Hidra; 2° al sur de la estrella μ.
7635	—		3,5×3	1650	8,5	Casiopea; en el centro entre la ρ de Casiopea y la ι de Cefeo.
246	—		4×3,5	1570	8,5	Ballena; 6° al norte de la estrella β.
6720	57	Circular	1,5×1	2300	9,3	Lira; en el centro de la distancia entre las estrellas β y γ.
6853	27	Pesa	8×4	980	7,6	Zorra; 3° al norte de la estrella γ de la Flecha.

Tabla 4. *Lista de algunas estrellas binarias y múltiples*

Designaciones: m, magnitud estelar sumaria: m_1 y m_2, magnitudes estelares de las componentes; ρ, distancia angular entre las componentes; f, multiplicidad física; *, los más bellos pares estelares.

Nombre de la estrella	m	m_1	m_2	ρ	Color de las componentes	Notas
γ de Andrómeda	$2,2^m$	$2,3^m$	$5,5^m$	10"	anaranjado, azulado	*, f, 1
δ de los Gemelos	3,5	3,5	8,2	7	amarillo, anaranjado	—
ϰ de los Gemelos	3,7	3,7	8,5	7	anaranjado, verdoso	f
ζ y g de la Osa Mayor	—	2,2	4,0	708	blanco	*
ζ de la Osa Mayor	2,2	2,4	4,0	14	blanco	*, f
ε del Can Mayor	1,6	1,6	8,1	7	azulado, blanco	f
α de la Balanza	—	2,9	5,3	230	blanco, amarillo	—
ι del Boyero	4,8	4,8	8,3	38	blanco	f
ϰ del Boyero	4,4	4,5	6,7	13	blanco, azulado	f
μ del Boyero	4,3	4,5	6,7	109	blanco, amarillo	f
α de Hércules	2,9—3,7	3,0—4,0	5,4	6	rojo, azulado	*, f, 2
δ de Hércules	3,2	3,2	8,0	10	blanco, violeta	—
α de los Lebreles	2,8	2,9	5,6	20	amarillo, lila	*, f
γ de la Virgen	2,9	3,6	3,7	6	blanlo amarillento	*, f
γ del Delfín	4,1	4,5	5,5	10	amarillo, verdoso	*, f
ν del Dragón	4,2	5,0	5,0	62	amarillo, blanco	f
ϑ de la Serpiente	4,1	4,5	5,4	23	blanco amarillento	f
η de Casiopea	3,6	3,6	7,2	10	amarillo, purpúreo	*, f
α del Capricornio	—	3,8	4,5	380	amarillo	*
β del Cisne	3,1	3,2	5,1	35	anaranjado, azul celeste	*, f

Nombre de la estrella	m	m_1	m_2	ρ	Color de las componentes	Notas
β de la Lira	3,3—4,2	3,3—4,2	7,8	47	blanco azulado	*, f, 3
δ de la Lira	4,1—4,5	4,5—5,0	5,5	619	rojo, blanco azulado	4
ε de la Lira	3,8	4,5	4,7	208	blanco	*, f, 5
ε^1 de la Lira	4,7	5,1	6,0	3	blanco	*, f
ε^2 de la Lira	4,5	5,1	5,4	2	blanco	*, f
ζ de la Lira	4,1	4,3	5,9	44	blanco, blanco amarillento	f
γ del León	2,3	2,6	3,4	4	amarillo dorado, amarillo verdoso	*, f
ζ del León	—	3,4	5,9	320	amarillo	
γ del Carnero	4,0	4,8	4,8	8	blanco	*, f
δ de Orión	2,5	2,5	6,9	53	blanco azulado	*, f
ϑ de Orión	4,2	4,9	4,9	135	blanco azulado, blanco amarillento	*, f, 6
ϑ^1 de Orión	4,9	5,4	6,8	14	blanco azulado	*, f, 7
			6,8	22	blanco azulado	
			7,9	9	blanco azulado	
ϑ^2 de Orión	4,9	5,2	6,5	52	amarillo, blanco azulado	*, f
			7,5	128	blanco azulado	
ι de Orión	2,8	2,8	7,0	11	blanco	f
σ de Orión	3,8	3,9	7,2	13	blanco	*, f, 8
			6,3	43	blanco azulado	
			7,0	30	blanco	
π de Pegaso	4,1	4,4	5,7	570	blanco, amarillo	
ε de Perseo	3,0	3,0	8,2	9	azulado, amarillo	f

Nombre de la estrella	m	m_1	m_2	ρ	Color de las componentes	Notas
η de Perseo	3,8	3,8	7,9	28	anaranjado, azulado	f
ι del Cangrejo	4,1	4,2	6,6	30	amarillo, azul celeste	*, f
β del Escorpión	2,8	2,9	5,1	14	blanco, amarillo verdoso	*, f, 9
μ del Escorpión	2,6	3,1	3,6	347	blanco azulado	—
ν del Escorpión	4,2	4,3	6,5	41	blanco azulado, blanco	f, 10
ϑ del Toro	3,1	3,6	4,0	337	blanco, amarillo	f
ϰ del Toro	4,0	4,4	5,4	340	blanco	f
δ del Toro	4,2	4,8	5,2	435	blanco	f
δ de Cefeo	3,5—4,4	3,5—4,4	7,5	41	amarillo, blanco	f
ξ de Cefeo	4,4	4,6	6,6	7	amarillo, blanco azulado	f

Notas:

1. Estrella triple física; el satélite, $5,5^m$, es binario físico.
2. La estrella principal es variable semirregular.
3. Triple; la estrella principal es variable eclipsante.
4. La estrella principal es variable.
5. Estrella física de cuatro componentes (ε^1 y ε^2).
6. Estrella múltiple (ϑ^1 y ϑ^2), puede ser igualada al cúmulo estelar difuso.
7. Se llama Trapecio de Orión, está integrada por 9 estrellas, cuatro de las cuales son visibles al telescopio de baja potencia.
8. Estrella de cinco componentes tipo Trapecio de Orión.
9. Estrella triple; el satélite, $5,1^m$, es estrella binaria.
10. Estrella triple; el satélite, $6,5^m$, es estrella binaria.

Tabla 5. *Lista de cúmulos estelares brillantes*

Designaciones: NGC, número según el catálogo de Dreyer; M, número según el catálogo de Messier; d, diámetro angular; n, número aproximado de estrellas en el cúmulo; r, distancia en años-luz.

NGC	M	d	n	r	Constelación y posición del cúmulo
					Cúmulos estelares difusos
663	—	11′	80	2570	En el centro entre la ε y la φ de Casiopea.
752	—	45	70	3420	Andrómeda; a 1/3 de distancia entre la γ de Andrómeda y la α del Triángulo.
869	—	36	350	6200	Perseo; h, χ } en el centro entre la δ de Casiopea y la γ de Perseo.
1039	34	42	80	1620	En el centro entre la β de Perseo y la γ de Andrómeda.
1912	38	26	150	2800	En el centro entre la ϑ y la ι del Cochero.
1960	36	19	60	3600	Cochero; 2° a la derecha del punto central en la línea de la ϑ del Cochero a la β del Toro.
2099	37	30	270	3600	Cochero; 2° a la izquierda del centro de la misma línea.
Pléyades	45	120	160	440	Toro; "cazo" al noroeste de la α del Toro; es visible a simple vista.
Híades	—	600	100	150	"Triángulo" junto a la α del Toro; es visible a simple vista.
2168	35	40	120	2600	2,5° al noroeste de la η de los Gemelos.
2287	41	50	90	1630	A 1/3 de distancia de la α a la ε del Can Mayor.
2632 Pesebre	44	90	320	520	2° al oeste de la α del Cangrejo
6405	6	25	80	1300	Escorpión; a 1/3 de la distancia de la γ del Sagitario a la ε del Escorpión.
6475	7	50′	80	820	Escorpión; en el centro de la distancia entre la κ del Escorpión y la γ del Sagitario.
6531	21	10	50	4900	2° al sudoeste de la μ del Sagitario.

NGC	M	*d*	*n*	*r*	Constelación y posición del cúmulo
6603	24	12	50	16 000	Sagitario; en el centro entre la γ del Escudo y la μ del Sagitario
6611	16	25	60	5 500	Serpiente; 2,5° al noroeste de la γ del Escudo.
7092	39	30	30	910	3° al norte de la ρ del Cisne.
7654	52	18	120	2 930	Casiopea; a 1/3 de la distancia de la β de Casiopea a la α del Cefeo.

Cúmulos globulares de estrellas

NGC	M	*d*	*n*	*r*	Constelación y posición del cúmulo
5272	3	12	—	30 000	Lebreles; aproximadamente en el centro entre la α de los Lebreles y la α de la Serpiente.
5904	5	13	—	21 500	7° al sudoeste de la α de la Serpiente.
6121	4	14	—	19 600	1,5° al oeste de la α del Escorpión.
6205	13	10	—	16 300	A 1/3 de distancia de la η a la ζ del Hércules.
6218	12	10	—	14 700	A 1/3 de distancia de la ε a la β del Serpentario.
6254	10	10	—	16 300	En el centro entre la μ y la λ del Serpentario.
6273	19	7	—	1 170	Serpentario; 7° al este de la α del Escorpión.
6341	92	10	—	25 400	Casi en el centro de la distancia entre la ι y la η de Hércules.
6656	22	17	—	9 100	Casi en el centro de la distancia entre la σ y la μ del Sagitario.
7078	15	7	—	27 100	3,5° al oeste y 2,5° al norte de la ε de Pegaso.
7089	2	8	—	28 700	Acuario; a 1/3 de la distancia de la α del Acuario a la ϑ del Aguila.

Tabla 6. *Lista de galaxias brillantes*

Designaciones: NGC, número según el catálogo de Dreyer; M, número según el catálogo de Messier; *r*, distancia en millones de años-luz.

NGC	M	Constelación	Dimensiones visibles	r	Magnitud estelar	Posición de las galaxias en el cielo
224	31	Andrómeda	200′×90′	2,0	$4,8^m$	1,5° al oeste de la estrella ν.
598	33	Triángulo	83×53	2,0	6,7	A 1/3 de la distancia de la α del Triángulo a la β de la Andrómeda.
3031	81	Osa Mayor	35×14	10,4	7,9	A la derecha de la estrella λ del Dragón y a la derecha de la α de la Osa Mayor. Conjuntamente con esas estrellas forman triángulo rectángulo isósceles; su vértice es la λ del Dragón.
3034	82	Osa Mayor	7×4	10,4	8,8	10° al noroeste de la α de la Osa Mayor.
3627	66	León	14×7	27,4	8,4	En el centro entre la ϑ y la ι del León.
4258	106	Lebreles	24×6	32,6	8,6	Casi en el centro entre la γ de la Osa mayor y la α de los Lebreles.
4472	49	Virgen	12×11	45,0	8,6	Al sudoeste de la ε de la Virgen. Junto con la ε y la δ de la Virgen forman triángulo isósceles.
4594	104	Virgen	12×11	45,0	8,7	10° al oeste de la α de la Virgen.
4736	94	Lebreles	15×13	32,6	7,9	3,5° de la α de los Lebreles en dirección a la δ de la Osa Mayor.
4826	64	Cabellera Berenice	12×8	32,6	8,8	5° al noroeste de la α de la Cabellera de Berenice.
5194	51	Lebreles	14×10	22,8	8,1	4° de la η de la Osa Mayor en dirección a la α de los Lebreles.

Tabla 7. *Lista de estrellas variables para las observaciones iniciales*

Designaciones: m, magnitud estelar durante el máximo y el mínimo del brillo; P, período de variabilidad en días (d), horas (h) y minutos (min); entre corchetes, para comparar se dan las estrellas y sus magnitudes estelares.

Estrellas variables eclipsantes

β de Perseo: $m=2{,}2^m-3{,}5^m$; $P=2{,}867^d=2^d20^h40^{min}$ [α de Perseo $1{,}9^m$; α de Andrómeda $2{,}2^m$; δ de Casiopea $2{,}8^m$; δ de Perseo $3{,}1^m$; α del Triángulo $3{,}6^m$; υ de Perseo $3{,}9^m$].

λ del Toro: $m=3{,}8^m-4{,}2^m$; $P=3{,}953^d=3^d22^h52^m$; [ε del Toro $3{,}6^m$ δ del Toro $3{,}9^m$; μ del Toro $4{,}3^m$; π del Toro $4{,}9^m$].

β de la Lira: $m=3{,}3^m-4{,}2^m$; $P=12{,}937^d=12^d22^h29^{min}$ [δ del Cisne $3{,}0^m$; μ de Hércules $3{,}5^m$; ι de Hércules $3{,}8^m$; ζ de la Lira $4{,}1^m$; η de la Lira $4{,}5^m$].

Estrellas variables: cefeidas

δ de Cefeo: $m=3{,}5^m-4{,}4^m$; $P=5{,}366^d=5^d8^h47^{min}$ [δ del Dragón $3{,}2^m$; γ de Cefeo $3{,}4^m$; η de Cefeo $3{,}6^m$; ε del Dragón $4{,}0^m$; ε de Cefeo $4{,}2^m$; π de Cefeo $4{,}6^m$].

ζ de los Gemelos: $m=3{,}6^m-4{,}4^m$; $P=10{,}151^d=10^d3^h37^{min}$ [ε de los Gemelos $3{,}2^m$; δ de los Gemelos $3{,}6^m$; ι de los Gemelos $3{,}9^m$; ρ de los Gemelos $4{,}2^m$; τ de los Gemelos $4{,}5^m$].

η del Aguila: $m=3{,}5^m-4{,}3^m$; $P=7{,}177^d=7^d4^h14^{min}$ [δ del Cisne $3{,}2^m$; υ del Aguila $3{,}4^m$; β del Delfín $3{,}7^m$; ε del Aguila $4{,}2^m$; β de la Flecha $4{,}5^m$].

Estrellas variables de período largo

o de la Ballena (Mira o Maravillosa): $m=2{,}0^m-10{,}1^m$; $P=332^d$; R del Triángulo: $m=5{,}5^m-12{,}6^m$, $P=266^d$; U de Orión: $m=5{,}3^m-12{,}6^m$, $P=372^d$; R del León: $m=4{,}4^m-11{,}3^m$; $P=312^d$; R de la Hidra; $m=4{,}0^m-10{,}0^m$, $P=390^d$; χ del Cisne: $m=3{,}3^m-14{,}2^m$, $P=407^d$; T de Cefeo: $m=5{,}4^m-11{,}0^m$, $P=380^d$.

Tabla 8. *Principales corrientes meteóricas*

Nombre de la corriente	Período de actividad	Fecha del máximo	Estrella brillante más cercana al radiante
Cuadrantidas	1—4 de enero	3 de enero	ι del Dragón
Liridas	19—24 de abril	22 de abril	α de la Lira
Acuaridas de Mayo	1—8 de mayo	3 de mayo	α y β del Acuario
Casiopeidas	17 de julio—15 de agosto	28 de julio	β y γ de Casiopea

Nombre de la corriente	Período de actividad	Fecha del máximo	Estrella brillante más cercana al radiante
Acuaridas-Delta	15 de julio—18 de agosto	27 de julio	δ del Acuario
Perseidas	25 de julio—17 de agosto	13 de agosto	de Perseo
Dragonidas	8—10 de octubre	9 de octubre	β y γ del Dragón
Orionidas	18—26 de octubre	21 de octubre	γ de los Gemelos
Leonidas	14—20 de noviembre	18 de noviembre	γ del León
Geminidas	7—15 de diciembre	14 de diciembre	α de los Gemelos
Ursidas		22 de diciembre	β y γ de la Osa Menor

Tabla 9. *Grandes detalles del hemisferio visible de la Luna*

(se conserva la numeración universalmente adoptada. Véanse los metidos N 3 y N 4)

1. Newton	58. Piccolomini	110. Alfonso	176. Aristarco
2. Mancino		111. Ptolomeo	180. Vitruvio
5. Moreto	59. Pontan	119. Hiparco	182. Macrobio
12. Blancanus	61. Aliacensis	120. Letron	183. Cleomedes
13. Clavio	62. Werner	125. Grimaldi	184. Roemer
14. Scheiner	63. Pitato	126. Flamsteed	186. Posidonio
18. Nearch	68. Lagrange	127. Landsberg	189. Autolico
19. Vlacq	69. Vieta	129. Delambre	191. Arquímedes
22. Maginus	73. Purbach	139. Reinhold	
	74. Lacaille		
24. Schiller	77. Sacrobosco	141. Hevelio	192. Tymocharis
28. Schilkard	78. Fracastor	142. Riccioli	
29. Wilhelm	80. Petavio	145. Reiner	193. Lambert
30. Tycho	84. Arzachel	146. Kepler	199. Aristilo
32. Stöffler	86. Bullialdo	147. Copérnico	200. Cassini
33. Maurolico	88. Cavendish	148. Stadio	201. Gauss
35. Fabricio	89. Mersenne	153. Taruntius	208. Eudoxia
36. Metio	90. Gassendi	160. Boskóvich	209. Aristóteles
46. Gaurico	95. Catharina	164. Condorcet	210. Platón
48. Walter	96. Cirilo	167. Manilio	211. Pico
50. Ricci	97. Teófilo	168. Eratóstenes	220. Pitágoras
51. Rheita	99. Vendelino		224. Gertner
52. Furnerius	100. Langren	170. T. Mayer	227. Endimión
53. Stevin	102. Guttenberg	171. Mario	228. Atlas
55. Snellius	109. Albatenio	175. Herodoto	229. Hércules

Bibliografía de las publicaciones de divulgación científica sobre astronomía

Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной.-8-е изд., М.; Наука, 1980.
(*Vórontsov-Veliamínov B. A.* Ensayos sobre el Universo.)
Гурштейн А. А. Извечные тайны неба.—2-е изд.— М.: Просвещение, 1984.
(*Gurshtéin A. A.* Enigmas eternos del cielo.)
Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной.—3-е изд.— М.: Наука, 1984.
(*Efrémov, Yu. N.* En las profundidades del Universo.)
Шкловский И. С. Вселенная жизнь, разум.—7-е изд.— М.: Наука, 1987.
(*Shklovski I. S.* El Universo, la vida, la razón.)
Бронштэн В. А. Беседы о космосе и гипотезах.— М.: Наука, 1968.
(*Bronshten V. A.* Coloquios sobre el cosmos y las hipótesis.)
Бронштэн В. А. Гипотезы о звездах и Вселенной.— М.: Наука, 1974.
(*Bronshten V. A.* Las hipótesis sobre las estrellas y el Universo.)
Агекян Т. А. Звезды, галактики, Метагалактика.—3-е изд.— М.: Наука, 1981.
(*Aguekián T. A.* Estrellas, galaxias, Metagalaxia.)
Уитни Ч. Открытие нашей Галактики.— М.: Мир, 1975.
(*Witney Ch.* Descubrimiento de nuestra Galaxia.)
Каплан С. А. Физика звезд.—3-е изд.— М.: Наука, 1977.
(*Kaplán S. A.* Física de las estrellas.)
Псковский Ю. П. Новые и сверхновые звезды.—2-е изд.— М.: Наука, 1985.
(*Pskovski Yu. P.* Estrellas nuevas y supernovas.)
Шкловский И. С. Звезды, их рождение, жизнь и смерть.—3-е изд. М.: Наука, 1984.
(*Shklovski I. S.* Estrellas, su origen, vida y muerte.)
Дагаев М. М. Книга для чтения по астрономии.— М.: Просвещение, 1980.
(*Dagáev M. M.* Libro de lectura sobre la astronomía.)
Левитан Е. П. Астрофизика школьникам.— М.: Просвещение, 1977.
(*Levitán E. P.* Astrofísica para los escolares.)
Климишин И. А. Астрономия вчера и сегодня.— Киев: Наукова думка, 1977.
(*Klimishin I. A.* Astronomía ayer y hoy.)
Климишин И. А. Астрономия наших дней.—3-е изд.— М.: Наука, 1986.
(*Klimishin I. A.* La astronomía de nuestros días.)
Ziguel F. Yu. Los tesoros del firmamento.— M.: Editorial Mir, 1967, 1971, 1973.
Рей Г. Звезды.— М.: Мир, 1969.
(*Rey G.* Estrellas.)

Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе.—6-е изд.— М.: Наука, 1984.
(*Tsesévich V. P.* Qué y cómo observar en el cielo.)
Дагаев М. М. Солнечные и лунные затмения.— М.: Наука, 1978.
(*Dagáev M. M.* Eclipses de Sol y de Luna.)
Рябов Ю. А. Движение небесных тел.—4-е изд.— М.: Наука, 1977.
(*Riábov Yu. A.* Movimiento de los cuerpos celestes.)
Демин В. Г. Судьба Солнечной системы.—2-е изд.— М.: Наука, 1975.
(*Diomin V. G.* Destino del Sistema solar.)
Гребеников Е. А., *Рябов Ю. А.* Поиски и открытия планет.—2-е изд.— М.: Наука, 1984.
(*Grebénikov E. A.*, *Riábov Yu. A.* Búsquedas y descubrimientos de los planetas.)
Маров М. Я. Планеты солнечной системы.—2-е изд.— М.: Наука, 1986.
(*Márov M. Ya.* Planetas del Sistema solar.)
Ксанфомалити Л. В. Планеты, открытые заново.— М.: Наука, 1978.
(*Xanfomaliti L. V.* Planetas nuevamente descubiertos.)
Симоненко А. Н. Астероиды, или тернистые пути исследований.— М.: Наука, 1985.
(*Simonenko A. N.* Asteroides, o caminos espinosos de las investigaciones.)
Шевченко В. В. Луна и ее наблюдение.— М.: Наука, 1983.
(*Shevchenko V. V.* La Luna y su observación.)
Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение.— 2-е изд.— М.: Наука, 1979.
(*Bronshten V. A.* Planetas y su observación.)
Чурюмов К. И. Кометы и их наблюдение.— М.: Наука, 1980.
(*Churiumov K. I.* Cometas y su observación.)
Беляев Н. А., *Чурюмов К. И.* Комета Галлея и ее наблюдение.— М.: Наука, 1985.
(*Beliáev N. A.*, *Churiúmov K. I.* Cometa de Halley y su observación.)
Цесевич В. П. Переменные звезды и их наблюдение.— М.: Наука, 1980.
(*Tsesévich V. P.* Estrellas variables y su observación.)
Бронштэн В. А. Серебристые облака и их наблюдение.— М.: Наука, 1984.
(*Bronshten V. A.* Nubes nocturnas luminosas y su observación.)
Навашин М. С. Телескоп астронома — любителя.—3-е изд.— М.: Наука, 1975.
(*Navashin M. S.* Telescopio de astrónomo aficionado.)
Сикорук Л. Л. Телескопы для любителей астрономии.— М.: Наука, 1982.
(*Sikoruk L. L.* Telescopios para los aficionados a la astronomía.)
Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии.—4-е изд.— М.: Наука, 1971.
(*Kulikovski P. G.* Prontuario para el aficionado a la astronomía.)
Михайлов А. А. Звездный атлас. Четыре карты звездного неба.— 4-е изд.— М.; Л.: Наука, 1978.
(*Mijáilov A. A.* Atlas estelar. Cuatro mapas celestes.)

Астрономический календарь — ежегодник ВАГО.— М.: Наука. Издается ежегодно.
(*Calendario anual astrónomico de la SAGN.*)
Школьный астрономический календарь.— М.: Просвещение. Издается ежегодно.
(*Calendario astronómico escolar.*)
Журнал *«Земля и Вселенная»* — М.: Наука. Издается 6 номеров в год.
(Revista *«La Tierra y el Universo»*)

A NUESTROS LECTORES:

Mir edita libros soviéticos traducidos al español, inglés, francés, árabe y otros idiomas extranjeros. Entre ellos figuran las mejores obras de las distintas ramas de la ciencia y la técnica, manuales para los centros de enseñanza superior y escuelas tecnológicas, literatura sobre ciencias naturales y médicas. También se incluyen monografías, libros de divulgación científica y ciencia-ficción.

Dirijan sus opiniones a la Editorial Mir, 1 Rizhski per., 2, 129820, Moscú, I-110, GSP, URSS.

Próximas publicaciones de la Editorial Mir

PONOMARIOV I.
¡Bajo el signo del cuanto!

La física cuántica es uno de los descubrimientos más importantes del siglo XX. Prácticamente no hay ningún fenómeno profundo de la naturaleza que pueda ser comprendido y explicado sin valerse de las ideas cuánticas. El presente libro pretende familiarizar al lector con los hechos fundamentales de la física cuántica y la historia de su descubrimiento. En forma elocuente y amena, suficientemente estricta y asequible, el autor expone la evolución de las ideas y los conceptos de la física cuántica. Es una obra de divulgación científica, destinada a los alumnos y maestros de las escuelas secundarias, así como a los estudiantes y profesores de las universidades.

POPOV YU. Y PUJNACHOV YU.
Las matemáticas en imágenes

Las matemáticas deben su origen a la actividad práctica de la humanidad, por lo que los conceptos fundamentales de esta ciencia pueden explicarse aduciendo ejemplos cotidianos muy bien conocidos. Los autores del libro se atienen consecuentemente a este criterio exponiendo una serie de concepciones básicas de las matemáticas superiores, valiéndose de imágenes sencillas y fáciles de entender. Peso al carácter aparentemente poco estricto de la exposición, el libro se basa en una lógica rigurosa. Los conceptos se describen de un modo muy consecuente, sus imágenes corresponden a definiciones exactas y forman un cuadro sistemático. Es una obra destinada principalmente a los profesores de las escuelas secundarias y a los aficionados a las matemáticas.